



Universidade da Beira Interior
Engenharia

Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltónicos comparativamente com indivíduos normais

Liliana Maria dos Reis Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Ramo Sistemas Biónicos
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

Covilhã, Outubro de 2012

Agradecimentos

À Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado, orientadora deste trabalho, agradeço a oportunidade dada na participação deste estudo, o apoio, a partilha de conhecimentos, a simpatia. Muito obrigada pela companhia em toda esta caminhada e pelas valiosas contribuições que me deu ao longo de todo este percurso.

Queria também agradecer à Professora Doutora Amélia Nunes que desde o início se mostrou sempre prestável, disponível e atenta a todas as minhas necessidades. Por ter sempre a porta e o sorriso aberto para me receber e esclarecer todas as minhas dúvidas.

Dirijo também uma palavra de apreço ao Professor Doutor José António Menezes Felipe de Souza por me ter apresentado o caminho em direcção ao fascinante mundo da Engenharia e por me ter acompanhado ao longo dessa jornada.

À Vera, Inês, Nádia, Rita, Liliana, Raquel, Idália, Isabel e a todos os meus amigos que contribuíram para que esta fase se concluísse com êxito, obrigada pela paciência, carinho e apoio.

O meu maior agradecimento é dirigido aos meus pais, por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência dos meus próprios valores.

Ao meu irmão pelo seu amor e atenção incondicionais não só durante este árduo percurso como também ao longo de toda a minha vida.

Resumo

Este trabalho tem como principal objectivo a avaliação das ondas cerebrais em indivíduos daltónicos, comparativamente com indivíduos normais recorrendo, à electroencefalografia. O daltonismo é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores. É uma patologia principalmente associada a origem genética que é transmitida pelo cromossoma X, porém pode também resultar de lesões nos órgãos responsáveis pela visão, ou de lesões de origem neurológica. Os portadores do gene anómalo apresentam dificuldade na percepção de determinadas cores primárias (como o verde e o vermelho) o que se repercute na percepção das restantes cores do espectro. Esta perturbação é causada por ausência ou menor número de alguns tipos de cones ou por uma perda de função parcial ou total destes, normalmente associada à diminuição de pigmento nos fotorreceptores que deixam de ser capazes de processar diferencialmente a informação luminosa de cor. Para verificar a deficiência na percepção das cores existem diversos testes que podem ser efectuados. Neste trabalho, foram realizados apenas os três seguintes: placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara, ‘The City University Colour Vision Test’ e o teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades. Contudo, é ainda uma incógnita perceber se o daltonismo se traduz apenas numa questão genética ou se estará associado também a alterações nas ondas cerebrais referentes à percepção da cor. Para se poder constatar se de facto existe mais alguma alteração, para além da alteração na percepção visual das cores, há necessidade de explorar ainda este campo, tarefa que se revela facilitada através da utilização da electroencefalografia. Esta é já largamente utilizada para a realização de diversos testes e diagnósticos neurológicos, já que, permite o registo da variação da actividade eléctrica do cérebro, originado pela condução do impulso nervoso. A aquisição dos testes electroencefalográficos é aqui executada usando o PowerLab/4st propriedade da ADInstruments, e a sua análise é feita através de Fast Fourier Transform (FFT). Posteriormente, os dados adquiridos serão examinados tendo em conta duas grandezas principais, a frequência e a amplitude das ondas Alfa. Tentar-se-á indagar da existência de alguma relação qualitativa entre estas duas grandezas e a reacção à cor para indivíduos daltónicos, quando comparadas com a reacção de indivíduos normais.

Palavras - Chave

Daltonismo, Percepção da cor, Testes de visão das cores, Electroencefalografia, Ondas cerebrais, FFT, Frequência da onda, Amplitude da onda.

Abstract

This work has as main objective the assessment of brain waves in colorblind individuals, compared with normal individuals using the electroencephalography. Color blindness is a disorder of visual perception characterized by the inability to differentiate some or all colors. It is a pathology mainly associated with the genetic origin that is transmitted by chromosome X, but can also result from lesions in the organs responsible for vision, or lesions of neurological origin. Bearers of the abnormal gene exhibit difficulties in perception of certain primary colors (such as green and red) which affects the perception of the other colors of the spectrum. This disturbance is caused by absence or small number of some types of cones or by a loss of function, partial or total, of these, usually associated with a reduction of pigment in photoreceptors which shall no longer be able to handle differently the information of luminous color. To check the disability in the perception of colors there are several tests that can be carried out. In this work, were performed only the following three: Ishihara's pseudo-isochromatic test plates, 'The City University Color Vision Test' and the test of Farnsworth Munsell Hue of 100 tones. However, it is yet unknown realize if color blindness is translated only in a genetic issue or is also associated with changes in brain waves on the perception of color. To be able to see whether there is in fact more changes, beyond the ocular detection of colors, there is a need to explore this field, task which is facilitated through the use of electroencephalography. This technique is already widely used in the implementation of various tests and neurological diagnoses, which allows the registration of the variation of electrical activity of the brain, caused by nervous impulse conduction. The acquisition of electroencephalographic testing is here performed using the PowerLab/ 4st property of ADInstruments, and its analysis is performed by means of Fast Fourier Transform (FFT). Subsequently, the acquired data will be examined taking into account two main parameters, the frequency and the magnitude of the Alfa waves. We try to investigate the existence of any qualitative relationship between these two parameters and the reaction to colors for color blindness individuals, when compared with the normal individuals reactions.

Keywords

Color blindness, Perception of color, Color-vision testing, Electroencephalography, Brain waves, FFT, Wave frequency, Wave amplitude.

Índice

1.	Introdução	1
1.1	Organização funcional do Sistema Nervoso	2
1.1.1	Funções do Sistema Nervoso.....	2
1.1.2	Divisões do Sistema Nervoso.....	3
1.1.3	Encéfalo	3
1.1.4	Cérebro.....	4
1.1.5	Organização do Sistema Nervoso	5
1.1.6	Sinais Eléctricos.....	7
1.1.6.1	Potenciais de Acção	7
2.	O Sistema Visual Humano	10
2.1	Anatomia do sistema visual	10
2.1.1	Anatomia do olho	10
2.1.1	A retina.....	12
2.1.2	Fisiologia Visual	13
2.1.3	Campos Visuais.....	15
2.2	Daltonismo	17
2.2.1	Deficiências na percepção da cor	18
2.2.2	Hereditariedade	19
2.2.3	Tipos de Daltonismo.....	20
3.	Física da Cor	22
3.1	Atributos percentivos da cor	22
3.1.1	Luminosidade.....	22
3.1.2	Saturação	22
3.1.3	Tonalidade	23
3.2	Tipos de cor	23
3.3	Síntese aditiva e síntese subtractiva	23
3.4	Visão de cores	24
4.	O registo da actividade cerebral.....	26
4.1	O electroencefalograma.....	26
4.1.1	Ondas cerebrais.....	27
4.1.2	O equipamento de EEG	28
4.1.3	Os eléctrodos.....	29
5.	Procedimento Experimental	31
5.1	Exames clínicos da visão de cores	31
5.1.1	Iluminação e metodologia para testes de visão de cores.....	35

5.1.2 Resultados relativos aos testes clínicos de visão das cores	36
5.2 Exames electroencefalográficos.....	38
5.2.1 Metodologia de aquisição	41
5.2.2 Metodologia de análise	42
6. Resultados.....	43
7. Discussão/Conclusão	47
Referências	51
Anexos	57
Anexo I - Folha de registo dos resultados dos testes efectuados para determinação da visão das cores.	57
Anexo II - Gráficos respectivos aos exames de electroencefalografia efectuados pelos voluntários.	59

Lista de Figuras

Figura 1 - Divisões do Sistema Nervoso [2].	3
Figura 2 - Regiões da metade direita do encéfalo [2].	4
Figura 3 - O Encéfalo [1].	5
Figura 4 - Neurónio [9].	5
Figura 5 - Actividades neuronais [10].	6
Figura 6 - Exemplo de um potencial de acção [10].	7
Figura 7 - Evolução de um potencial de acção na membrana [10].	8
Figura 8 - Representação dos principais constituintes do olho humano [16].	12
Figura 9 - Representação esquemática das camadas da retina [9].	13
Figura 10 - Representação da Tricromaticidade e a sua relação com cores opostas.	14
Figura 11 - Representação da absorção de luz pelos bastonetes e pelos cones [9].	14
Figura 12 - Representação dos campos visuais correspondentes ao olho esquerdo e ao olho direito [16].	15
Figura 13 - Esquema simbolizando as duas vias visuais principais	16
Figura 14 - Representação esquemática das vias ópticas e campos visuais [16].	17
Figura 15 - Representação esquemática da transmissão genética do daltonismo	20
Figura 16 - Representação da síntese aditiva das cores primárias (a) e da síntese subtractiva das cores complementares (b).	24
Figura 17 - Gráfico representativo da densidade de cones na retina [62].	25
Figura 18 - Representação dos diferentes tipos de ondas cerebrais num electroencefalograma normal [9].	28
Figura 19 - Diagrama esquemático demonstrativo das unidades funcionais principais de um equipamento de electroencefalograma [69].	29
Figura 20 - Diagrama representativo da colocação dos eléctrodos pelo sistema 10-20 incluindo os respectivos traçados das ondas cerebrais de um paciente normal [43].	30
Figura 21 - Representação do teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades [71].	32
Figura 22 - Gráficos polares do teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades [28].	33
Figura 23 - Representação de exemplos de placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara [72].	33
Figura 24 - Representação de exemplos contidos no ‘The City University Colour Vision Test’ [73].	34
Figura 25 - Exemplo do arranjo de estímulos utilizado originalmente no teste Cambridge Colour Test.	35
Figura 26 - Esquema representativo do posicionamento correcto dos eléctrodos no paciente [80].	39

Figura 27- Representação da situação real de execução de um ensaio do teste de electroencefalografia.	40
Figura 28 - Representação gráfica das configurações do Bio Amplifier para o EEG (à esquerda) e das ondas alfa no software (à direita) [80].	42
Figura 29 - Gráfico representativo do registo da frequência (Hz) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos daltónicos.	44
Figura 30 - Gráfico representativo do registo da frequência (Hz) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos normais.	44
Figura 31 - Gráfico representativo do registo da amplitude (μ V) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos daltónicos.	45
Figura 32 - Gráfico representativo do registo da amplitude (μ V) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos normais.	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Diferenças clínicas entre os defeitos congénitos e os defeitos adquiridos da sensibilidade cromática [28]	18
Tabela 2 - Registo da frequência (Hz) da onda Alfa registada nas diferentes cores relativa aos indivíduos que realizaram o exame	43
Tabela 3 - Registo da amplitude (μ V) da onda Alfa registada nas diferentes cores relativa aos indivíduos que realizaram o exame	45

Nomenclatura

Símbolo	Designação	Unidades SI
f	Frequência	Hertz (Hz)
ω	Frequência angular	Radianos/Segundo (Rad/s)
λ	comprimento de onda	Metro (m)
δ	onda cerebral Delta	
θ	onda cerebral Teta	
α	onda cerebral Alfa	
β	onda cerebral Beta	
γ	onda cerebral Gama	

Lista de Acrónimos

CIE	Comissão Internacional de Iluminação (“Comission Internationale de l’Éclairage”)
CCT	Teste de Cores de Cambridge (“Cambridge Colour Test”)
EEG	Electroencefalograma
EMG	Actividade Electromiográfica
FFT	Transformada Rápida de Fourier (“Fast Fourier Transform”)
HRR	Teste de Hardy-Ritcher Rand
IFSECN	Federação Internacional de Sociedades de EEG e Neurofisiologia Clínica (“International Federation of Societies for EEG and Clinical Neurophysiology”)
MEG	Magneto-encefalografia
PET	Tomografia por Emissão de Positrões
PPSE	Potencial Pós-sináptico Excitatório
PPSI	Potencial Pós-sináptico Inibitório
RGB	Vermelho-Verde-Azul (“Red Green Blue”)
RM	Ressonância Magnética
SNC	Sistema Nervoso Central
SNP	Sistema Nervoso Periférico
USB	Universal Serial Bus

“... Ora, não percebeis que com os olhos alcançais toda a beleza do mundo? O olho é o senhor da astronomia e o autor da cosmografia; ele desvenda e corrige toda a arte da humanidade; conduz os homens às partes mais distantes do mundo; é o príncipe da matemática, e as ciências que o têm por fundamento são perfeitamente corretas.

O olho mede a distância e o tamanho das estrelas; encontra os elementos e suas localizações; ele... deu origem à arquitetura, à perspectiva, e à divina arte da pintura.

...Que povos, que línguas poderão descrever completamente sua função! O olho é a janela do corpo humano pela qual ele abre os caminhos e se deleita com a beleza do mundo.”

Leonardo Da Vinci

"O mais agudo dos nossos sentidos é o sentido da visão."

Cícero

1. Introdução

"Um optimista é uma pessoa que vê uma luz verde em todos os lugares, enquanto o pessimista só vê o semáforo vermelho. . . O verdadeiro sábio é daltónico "

Albert Schweitzer

Uma possível interpretação para a citação acima referida do grande filósofo e médico alemão Albert Schweitzer, seria a vantagem e a desvantagem de um daltónico no mundo filosófico e no mundo real (médico), respectivamente. Filosoficamente, o daltonismo permitiria a visão de um mundo não tão pessimista ou optimista, uma vez que o verde e o vermelho não seriam extremos. Sendo assim, ser portador desta doença num mundo irrealista como o da filosofia seria encarado como uma grande vantagem, já que o semáforo vermelho que significa impedimento ou restrição jamais seria percebido, permitindo uma liberdade e autonomia (quase) sem limites.

Já a interpretação desta citação tendo em conta um mundo mais realista como o da medicina, ser portador de uma patologia como a do daltonismo não é propriamente uma vantagem. Pode ser uma doença um pouco limitadora, na medida em que pode gerar algum complexo levando a algum isolamento social; para além disso, se olharmos à nossa volta existem códigos de cores quase por toda a parte (no metro, comboio, índices, mapas, etc) que para indivíduos portadores desta deficiência são praticamente imperceptíveis.

Tendo em conta todos os avanços que se têm verificado na área da medicina, ainda assim não é possível atenuar este problema, cuja principal origem é genética, não havendo ainda indícios de qualquer ligação com a parte cerebral.

O que se pretende neste trabalho é averiguar, para além das alterações verificadas geneticamente, se o registo das ondas cerebrais de indivíduos daltónicos se revela diferente quando comparado com o registo das ondas cerebrais de indivíduos normais.

O método utilizado para a detecção das possíveis diferenças verificadas será a electroencefalografia, e basear-se-á na aquisição do sinal eléctrico resultante da actividade cerebral, mais propriamente na aquisição da onda Alfa.

1.1 Organização funcional do Sistema Nervoso

O sistema nervoso é constituído por diversas estruturas, das quais se destacam o encéfalo, a medula espinhal, os nervos e os receptores sensoriais [1]. É responsável pelas percepções sensoriais, pelas actividades cognitivas e pela estimulação da secreção de muitas glândulas [2].

É um sistema que pode analogicamente comparar-se com um computador, pois estes também necessitam de circuitos de entrada (*input*) comparáveis à porção sensitiva do sistema nervoso, bem como circuitos de saída (*output*) similares com a parte motora do mesmo sistema. Simplificando, nos computadores o sinal de saída é directamente controlado pelo sinal de entrada, reacção que também é verificável ao nível dos reflexos da medula espinhal. Analisando os computadores mais complexos, é possível atestar que o sinal de saída é controlado tanto pelo sinal de entrada como pela informação previamente armazenada na sua memória que, por analogia se assemelha aos mecanismos de reflexos e processamento da informação mais complexos do sistema nervoso. Contudo, para que a complexidade dos computadores aumente, há necessidade de adicionar outra unidade ao sistema, a unidade de processamento central (*central processing unit*), que determina a sequência de todas as operações. Por comparação, esta unidade é parecida com a secção do sistema nervoso que coordena a atenção, inicialmente para apenas um pensamento, sensação ou actividade motora e posteriormente para sequências complexas de pensamentos e decisões de movimento.

1.1.1 Funções do Sistema Nervoso

O sistema nervoso intervém em diversas actividades do corpo humano, assumindo em cada uma delas um papel específico e essencial. Apresenta-se como interveniente na informação sensorial, isto é, os receptores sensoriais monitorizam inúmeros estímulos externos e internos, como a temperatura, a visão, o tacto, o paladar, o olfacto, a pressão arterial, o pH dos líquidos corporais e a posição relativa das partes do corpo. Possui também responsabilidade na função de integração, visto que o encéfalo e a medula espinhal são os principais órgãos responsáveis por processar a informação sensorial e iniciar as respectivas respostas. Assim, a informação pode gerar uma resposta imediata, sendo a mesma ignorada ou armazenada como memória para uso posterior. Tem também um papel preponderante na homeostase de todo o organismo, ou seja, no equilíbrio corporal, pois organiza as actividades reguladoras e coordenadoras do sistema nervoso para manter essa mesma homeostase. Assume ainda funções na actividade mental, pois o encéfalo é por excelência o centro das actividades mentais, nas quais se incluem a consciência, o pensamento, a memória e as emoções [3-4].

1.1.2 Divisões do Sistema Nervoso

Nos seres humanos existe apenas um sistema nervoso, contudo algumas das suas subdivisões são consideradas sistemas separados (Fig. 1). Portanto, consideram-se o sistema nervoso central (SNC) e o sistema nervoso periférico (SNP) como subdivisões do sistema nervoso. O SNC consiste no encéfalo e medula espinhal, que são protegidos e circundados por ossos. O encéfalo encontra-se localizado no interior do crânio e a medula espinhal aloja-se no interior do canal raquidiano, formado pelas vértebras. O encéfalo e a medula espinhal formam uma estrutura contínua através do buraco occipital [2, 5].

O SNP é exterior ao SNC, sendo constituído por receptores sensoriais, nervos, gânglios e plexos [2, 6].

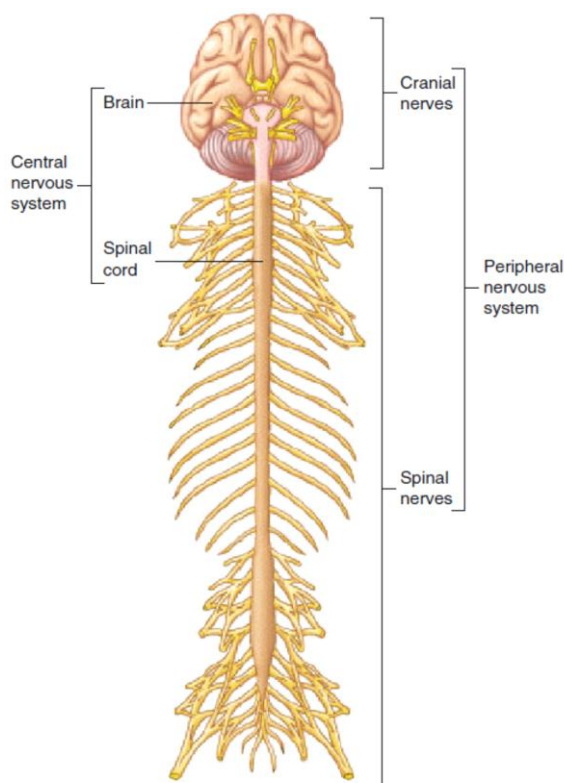


Figura 1 - Divisões do Sistema Nervoso [2].

1.1.3 Encéfalo

O encéfalo é a parte do SNC contida no crânio (Fig. 2) e representa o centro de controlo para muitas das funções corporais. Este órgão é constituído pelo tronco cerebral, pelo cerebelo, pelo diencéfalo ou cérebro intermédio e pelo cérebro hemisférico ou telencéfalo [1-2].

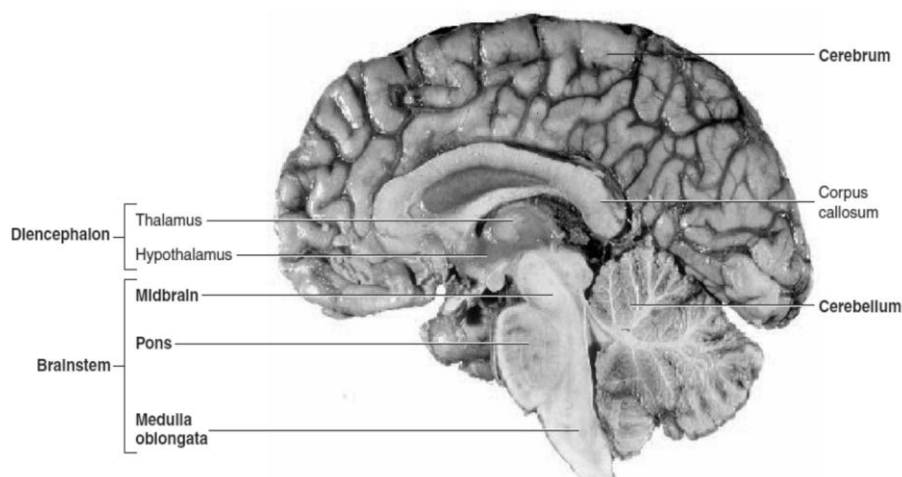


Figura 2 - Regiões da metade direita do encéfalo [2].

1.1.4 Cérebro

O cérebro é a maior porção do encéfalo, pesando cerca de 1.200 g nas mulheres e de 1.400 g nos homens [2]. Encontra-se dividido em dois hemisférios - direito e esquerdo, pela fenda inter-hemisférica ou fissura longitudinal (Fig. 3 a). Cada hemisfério cerebral está subdividido em lobos, que se designam pelos nomes dos ossos do crânio que estão por cima de cada um deles (Fig. 3 b). O lobo frontal é o lobo com maior extensão e de maior importância funcional na espécie humana, uma vez que regula todas as funções cognitivas superiores. É indispensável na função motora voluntária, na motivação, na agressão, no sentido do olfacto e no humor. O lobo parietal é o principal centro de recepção e avaliação de informação sensorial, excepto no que concerne ao olfacto, à audição e à visão. Os lobos frontais e parietais estão separados pelo sulco central (ou Rolândico). O lobo occipital é o menor dos quatro lobos e não apresenta uma separação muito clara relativamente aos lobos parietal e temporal. Este lobo actua na recepção e integração de estímulos visuais. Por fim, o lobo temporal recebe e avalia os estímulos olfactivos e auditivos, e desempenha um papel importante na memória. As porções anterior e inferior designam-se como “córtex psíquico” e associam-se a funções cerebrais como o pensamento abstracto e o juízo crítico. O lobo temporal está separado do resto do cérebro pela fissura de Sylvius ou sulco lateral, na profundidade da qual está a ínsula, muitas vezes considerada como um quinto lobo [2, 7].

As actividades do SNC estão essencialmente relacionadas com as correntes sinápticas transferidas entre as junções (chamadas sinapses) de axónios e dendrites, ou entre dendrites e dendrites de células. Um potencial de 60-70 milivolts (mV) com polaridade negativa pode ser medido na membrana do corpo celular. Este potencial muda com variações nas actividades sinápticas, ou seja, se um potencial de acção que percorre a fibra termina numa sinapse excitatória, automaticamente é produzido um potencial pós-sináptico excitatório (PPSE) no neurónio seguinte. Então, se dois potenciais de acção percorrerem uma distância curta ao longo da mesma fibra, vai ser originado um somatório de PPSEs que vão produzir um potencial de acção no neurónio pós-sináptico ao ultrapassar um determinado limiar e desta forma é alcançado o potencial de membrana.

Se por sua vez, a fibra terminar numa sinapse inibitória ocorrerá hiperpolarização (a membrana celular fica mais polarizada), ocorrendo um potencial pós-sináptico inibitório (PPSI) (Fig. 5) [10].

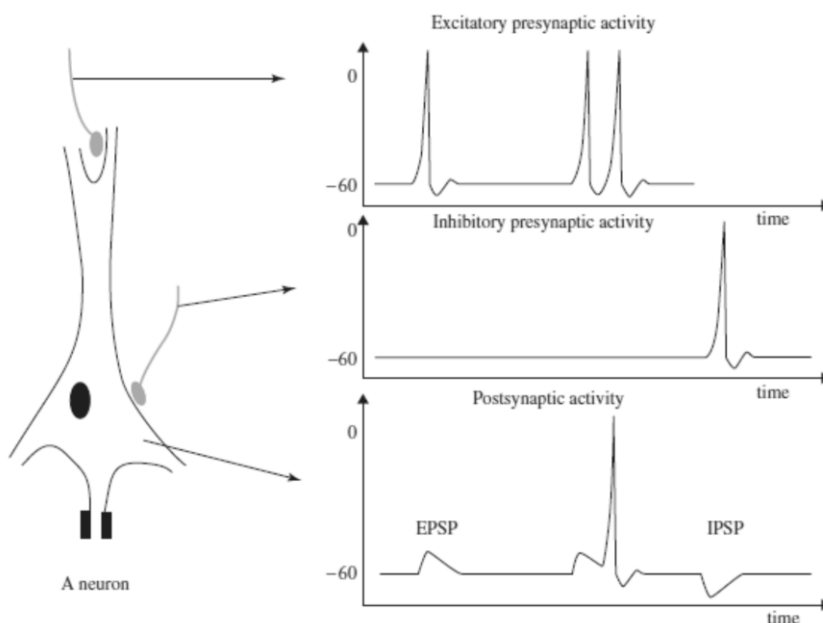


Figura 5 - Actividades neuronais. Registo por meio de microeléctrodos intracelulares das alterações dos potenciais de membrana do neurónio e o fluxo de corrente durante a activação sináptica; Potenciais de acção excitatórios e inibitórios nas fibras pré-sinápticas originam respectivamente PPSEs e PPSIs no neurónio pós-sináptico [10].

Logo que é gerado um PPSI, verifica-se um grande fluxo de catiões das células nervosas ou um afluxo de aniões nas células nervosas. Para finalizar, este fluxo, provoca uma mudança no potencial ao longo da membrana da célula nervosa. As correntes primárias transmembranares geram correntes secundárias de iões junto às membranas celulares no espaço intra e extracelular. A parte destas correntes que fluem através do espaço extracelular é directamente responsável pela geração de potenciais eléctricos fora da célula. Estes potenciais eléctricos fora da célula, geralmente com uma frequência inferior a 100 Hz, são

denominados de EEGs quando não há alterações na média do sinal e na corrente directa, se existirem desvios lentos nos sinais médios, estes podem dissimular os sinais reais de EEG [10].

1.1.6 Sinais Eléctricos

Tal como os computadores, os seres humanos dependem de sinais eléctricos para comunicar e processar informação. Os sinais eléctricos produzidos pelas células chamam-se potenciais de acção. Estes são meios importantes pelos quais as células transferem informação de uma parte para outra do corpo. Os potenciais de acção com origem no encéfalo e medula espinhal são conduzidos a músculos e certas glândulas de modo a regular as suas actividades.

O conhecimento básico das propriedades eléctricas das células é necessário à compreensão das funções normais do organismo e ao entendimento de várias patologias.

1.1.6.1 Potenciais de Acção

As informações transmitidas por um nervo são chamadas de potencial de acção. Os potenciais de acção são causados devido a uma troca de iões através da membrana do neurónio e resultam de uma alteração temporária no potencial de membrana que é transmitido ao longo do axónio. De uma forma geral é iniciado no corpo da célula e propaga-se numa única direcção. O potencial de membrana despolariza (torna-se mais positivo), produzindo uma onda. Após a ocorrência do pico dessa mesma onda, a membrana repolariza (torna-se mais negativa). O potencial torna-se mais negativo do que o potencial de repouso (corresponde a um número praticamente igual de moléculas e iões carregados no interior e no exterior da célula) e, em seguida, retorna ao normal.

Os potenciais de acção da maioria dos nervos duram entre 5 e 20 milissegundos (ms) (Fig. 6) [10].

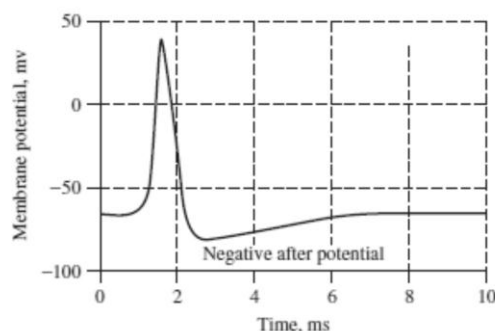


Figura 6 - Exemplo de um potencial de acção [10].

A velocidade de condução dos potenciais de acção situa-se entre 1 e 100 ms. Os potenciais de acção podem ser precedidos de diversos tipos diferentes de estímulos; os nervos sensoriais respondem a estímulos químicos, à luz, à pressão, ao toque e ao alongamento. Por outro lado, os nervos do SNC são na sua maioria estimulados por processos químicos que ocorrem nas sinapses [10].

Um estímulo só, é capaz de desencadear um potencial de acção se este estiver acima de um determinado limiar. Os estímulos fracos causam uma pequena perturbação eléctrica local, mas não chegam a produzir um potencial de acção. Só quando o estímulo está acima do limiar é que o potencial de acção aparece e percorre o nervo.

O pico do potencial de acção é causado principalmente pela abertura dos canais de Sódio (Na^+). A bomba de Na^+ produz um gradiente de iões de Na^+ e Potássio (K^+). Ambos são usados para produzir o potencial de acção.

A concentração de Na^+ é alta fora da célula e baixa no interior da célula. As células excitáveis possuem canais especiais de Na^+ e K^+ com canais (ou poros) que abrem e fecham em resposta à tensão da membrana, ou seja, são canais dependentes de tensão. Desta forma, a abertura dos canais de Na^+ permite que o Na^+ entre rapidamente para a célula, transportando carga positiva. Isto faz com que o potencial de membrana seja positivo (despolarização) e se produza o impulso (Fig.7) [10].

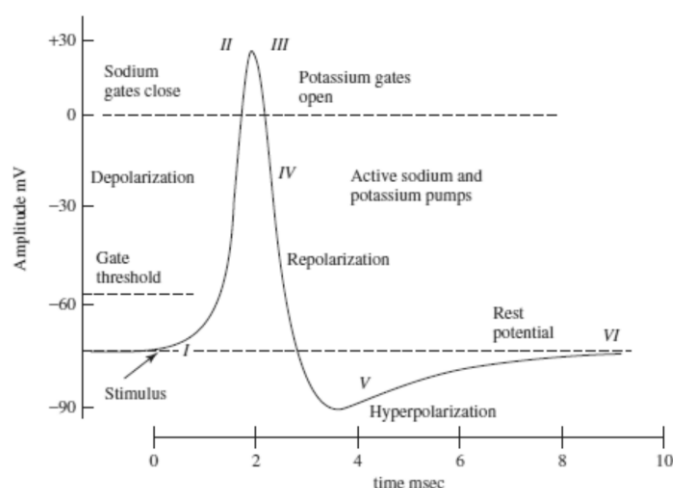


Figura 7 - Evolução de um potencial de acção na membrana [10].

Para um ser humano a amplitude do potencial de acção varia entre aproximadamente -10mV e 60mV. Durante este processo existem diversas etapas. No início, quando as dendrites de uma célula nervosa recebem um estímulo, os canais de Na^+ são abertos. Se a abertura for suficiente para impulsionar um potencial interno de -70mV até -55mV, o processo continua. Seguidamente, assim que o limiar de acção é atingido, são abertos canais adicionais de Na^+ (por vezes chamados canais de abertura dependentes de tensão). O afluxo de Na^+ estimula o

interior da membrana celular a atingir até aproximadamente +30mV. O processo até este ponto é chamado de despolarização. Depois, os canais de Na^+ fecham e os canais de K^+ abrem. Uma vez que os canais de K^+ são mais lentos na abertura, a despolarização tem tempo para ser concluída. Se porventura ocorrer uma situação em que os canais de Na^+ e K^+ se encontrem abertos ao mesmo tempo, o sistema é levado a fluir no sentido da neutralidade e a impedir a criação do potencial de acção. Uma vez que os canais de K^+ se encontram abertos, sucede-se a repolarização da membrana de forma a voltar ao potencial de repouso. Esta repolarização aumenta geralmente o potencial de repouso para um nível de aproximadamente -90mV. Este fenómeno é denominado de hiperpolarização e parece ser contraproducente, contudo é realmente importante na transmissão de informações. A hiperpolarização impede que o neurónio receba outro estímulo durante este tempo, ou, pelo menos, aumenta o limiar para qualquer novo estímulo. Parte da importância da hiperpolarização está em garantir que o sinal continue numa única direcção. Por fim, assim que ocorre a hiperpolarização, as bombas de Na^+/K^+ eventualmente conduzem a membrana de volta ao seu estado de repouso de -70mV.

Normalmente, o nervo requer cerca de dois milissegundos antes de outro estímulo ser apresentado. No decorrer desse tempo não pode ser gerado nenhum potencial de acção. Este período de tempo é chamado de período refractário [10].

2. O Sistema Visual Humano

O sistema visual humano não possui limites precisos, para que a definição do mesmo seja completa, ter-se-ia de englobar o cérebro neste sistema tão complexo [11]. Deste modo, pode dizer-se que apesar do processo da visão estar bem determinado pelo seu órgão de recepção da luz (o olho) e de transdução dos sinais neuronais (a retina), das vias ópticas (nas quais intervêm os nervos ópticos, o quiasma óptico, os tractos ópticos, os corpos geniculados laterais e radiações ópticas) até ao local de recepção e decodificação desses sinais, transformados por fim em percepção visual (o córtex occipital), não é apenas destas estruturas de que depende todo este percurso. Portanto, para que o processo da aquisição do sinal visual se dê por concluído e finalmente se dê a percepção e compreensão daquilo que se vê, há a necessidade de interagir ainda com outras zonas cerebrais (córtex parietal e temporal).

2.1 Anatomia do sistema visual

A base do sistema visual humano é uma rede de sensores sensíveis à luz, existentes nos olhos, designados por fotorreceptores. Estes sensores são sensíveis a diferentes comprimentos de onda, enviando um sinal eléctrico para o cérebro. No cérebro, estes sinais são processados, resultando na sensação da visão - de luz e cores, movimento e forma [12].

A maior parte da informação sobre o mundo que nos cerca é detectada pelo sistema visual [13].

2.1.1 Anatomia do olho

O globo ocular tem cerca de 25 milímetros de diâmetro e é o responsável pela captação da luz refletida pelos objectos à nossa volta. O olho humano é o órgão responsável pela visão no ser humano [14-15]. É composto por três camadas ou túnicas: a camada externa ou túnica fibrosa (constituída pela esclerótica e, na sua parte anterior pela córnea), a camada média ou túnica coroideia, corpo ciliar e íris, e a camada interna ou túnica nervosa, a retina (Fig. 8).

A túnica fibrosa é constituída pela esclerótica, que é a camada externa, firme, opaca e branca. É formada por tecido conjuntivo colagénico denso com fibras elásticas [2]. Esta camada é extremamente importante na manutenção da forma do olho, sendo ainda um meio de protecção das estruturas internas e um ponto de inserção para os músculos que movem o olho. A esclerótica prolonga-se anteriormente pela córnea, que é uma estrutura avascular e transparente, permitindo desta forma a entrada de luz no olho. Afigura-se como parte integrante do sistema de focagem do olho, permitindo a reflexão ou refacção da luz que

entra, na retina. É formada por uma matriz de tecido conjuntivo que contém colagénio (zona branca), fibras elásticas e proteoglicanos (zona transparente), juntamente com uma camada de epitélio pavimentoso estratificado que envolve a superfície exterior, e uma camada de epitélio pavimentoso simples na superfície interior [2].

A túnica média do globo ocular é uma túnica vascular, contendo a maior parte dos seus vasos sanguíneos. As artérias aí presentes derivam de outras, denominadas artérias ciliares curtas, que penetram na esclerótica num círculo em volta do nervo óptico. A coroideia é uma camada relativamente fina e composta por numerosas células pigmentadas, ricas em melanina, que lhe conferem uma cor escura [5]. Esta estrutura é constituída anteriormente pela íris e pelo corpo ciliar. O corpo ciliar é contínuo à coroideia, enquanto a íris se encontra inserida nos bordos do corpo ciliar, limitando um orifício designado por pupila [9]. O corpo ciliar assume um papel de relevo já que contém um anel ciliar mais exterior e um grupo de processos ciliares mais interiores, nos quais se inserem os ligamentos suspensores do cristalino.

A íris é a parte colorida do olho e é uma estrutura contráctil, que é essencialmente formada por músculo liso, rodeando a pupila [15]. A luz entra no olho através da pupila e é a íris que limita a quantidade de luz que entra no globo ocular, controlando desta forma o tamanho da pupila.

O cristalino é uma estrutura transparente e biconvexa, apresentando maior convexidade na face posterior [15]. É composto por células epiteliais e encontra-se suspenso entre dois compartimentos oculares, o humor aquoso e o humor vítreo, pelo ligamento suspensor do cristalino [5, 9].

O humor aquoso é uma substância semilíquida e transparente que preenche a câmara anterior e posterior do olho e, pela sua pressão interna, faz com que a córnea se torne protuberante [15]. É também responsável pela refacção da luz e fornece nutrição às estruturas avasculares da câmara anterior (tal como a córnea, por exemplo). A produção e remoção do humor aquoso permitem a sua circulação, ajudando desta forma a que a pressão intraocular se mantenha constante.

O humor vítreo apresenta-se gelatinoso e transparente. E, ao contrário do que se verifica com o humor aquoso, não tem uma produção regular, sendo a sua renovação um processo extremamente lento. Actua na refacção da luz dentro do olho e dá um enorme contributo no que diz respeito à manutenção da pressão intraocular, permitindo por isso que o globo ocular mantenha sempre a sua forma, segurando o cristalino e a retina no seu lugar [9].

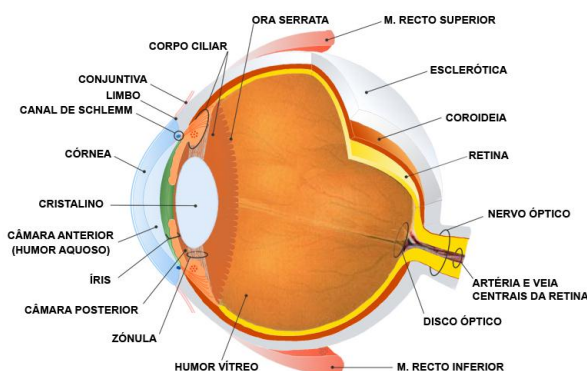


Figura 8 - Representação dos principais constituintes do olho humano [16].

2.1.1 A retina

A retina é a camada mais interior das túnica do olho, envolve internamente $\frac{3}{4}$ do globo ocular e representa um papel importantíssimo no processo da visão [2, 15]. É formada pela retina pigmentada (mais externa), e pela retina sensorial (interna) que reage à luz [15]. A retina sensorial é constituída por cerca de 110-120 milhões de células fotorreceptoras denominadas bastonetes e cerca de 6 a 7 milhões de cones, assim como um largo número de neurónios de ligação [15, 17]. Os cones são as estruturas responsáveis pela visão das cores. Funcionam durante o dia, quando há um limiar de luz suficiente para os activar, quando este limiar cai, ocorre a activação dos bastonetes. É de salientar que os cones se encontram concentrados na retina central enquanto os bastonetes se condensam na retina periférica. No pólo posterior, existe uma pequena mancha amarela de aproximadamente 4 mm de diâmetro - a mácula lútea, que constitui a retina central. No centro desta, pode observar-se um pequeno ponto - a fóvea, sítio no qual a luz deve ser focada. É uma estrutura de dimensões bem pequenas, mas de suma importância para a visão, já que a acuidade visual nela obtida é de 10/10, ou seja 100%, que corresponde à visão normal de um indivíduo emetropo [5]. Isto acontece porque é nesta zona da retina que os cones se encontram em maior densidade, resultando numa perda gradativa da acuidade visual à medida que nos afastamos dessa área [17-18].

Conseguem diferenciar-se três zonas retiniais que exercem um papel relevante na função visual: a área dos receptores, a camada de associação e a camada ganglionar (Fig. 9). Na primeira estão presentes as células fotorreceptoras, cones (representados a vermelho) e bastonetes (figurados a amarelo). Têm como função converter a energia da luz em impulsos nervosos, resultando essa conversão numa reação química que envolve a transformação dos pigmentos visuais. Na segunda camada estão presentes células horizontais, amácrinas e bipolares que ligam os cones e os bastonetes às células ganglionares. A última camada e mais

interna, é constituída pelas células ganglionares, cujos axónios formam o nervo óptico que sai do globo ocular e comunica com o cérebro [17].

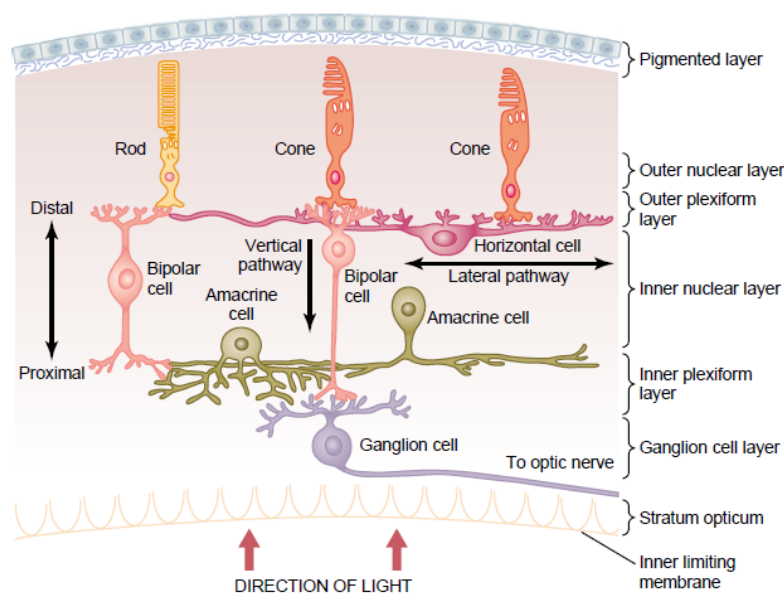


Figura 9 - Representação esquemática das camadas da retina [9].

2.1.2 Fisiologia Visual

A fototransdução é o primeiro processo para a visão, através do qual os fótons absorvidos pelos cones e bastonetes na retina, irão desencadear um sinal eléctrico, que é transmitido sinapticamente para neurónios retinianos de ordem superior de forma a que ocorra o processamento [19-21].

Os bastonetes concentram-se mais na retina periférica e não são sensíveis a diferenças de cores, respondem apenas a gradientes acromáticos [22]. São muito úteis para detectar movimento e para visão em baixos níveis de luminosidade [23].

Os cones são sensíveis às cores e estão concentrados na retina central, onde há maior incidência de luz (fóvea) [21]. Dada a sua grande densidade, permitem uma visão muito apurada e com grande discriminação. São essenciais para a visão das formas e para a visão das cores, contudo necessitam de níveis de luminosidade maiores.

Existem três tipos principais de cones, que respondem a comprimentos de onda longo, médio e curto, chamados de cones L, M e S [24-25]. O primeiro reage maximamente à luz de comprimentos de onda longos, chegando a uma cor amarelada (tipicamente referida como vermelho), este tipo é designado por L. O segundo tipo responde maximamente à luz de comprimento de onda médio, na região do verde, e é abreviado para M. O terceiro tipo responde maximamente a curtos comprimento de onda de luz, de cor azulada, e é

denominado S. Os três tipos de cones apresentam picos de sensibilidade nos comprimentos de onda de 560nm, 530nm e 440nm, respectivamente [26-27].

Desta forma, o processo-oponente representado pelas cores opostas: vermelho-verde e azul-amarelo, sugere que as informações referentes às três cores primárias (vermelho, verde e azul) são captadas pelos cones na retina. Essas informações, são posteriormente utilizadas para produzir três canais distintos de informação que têm como função, a comunicação das respectivas cores (vermelho-verde, amarelo-azul e preto-branco) para o cérebro (Fig. 10) [28-30]. Assim, as informações provenientes dos cones vermelhos e verde são comparadas para determinar a intensidade da luz, ou seja, a variação do claro ao escuro; a informação proveniente dos cones vermelho e verde determina a intensidade de variação do vermelho ao verde; e informações provenientes dos cones azuis são comparadas às informações provenientes dos cones verdes e vermelhos, conjuntamente, para determinar a intensidade de variação do azul ao amarelo.

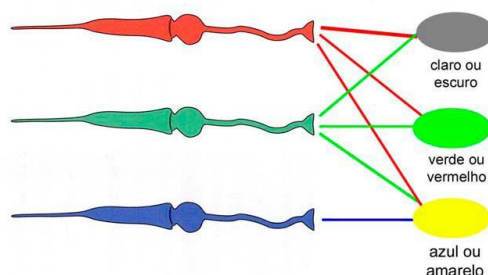


Figura 10 - Representação da Tricromaticidade e a sua relação com cores opostas.

Desta forma, pode constatar-se que os olhos dos seres humanos são sensíveis aos comprimentos de onda vermelho, verde e azul provenientes da luz. Por isso, com intensidades diferentes de luz vermelha, verde e azul, torna-se possível a visualização de várias cores. Este princípio fundamenta a prática de reprodução das cores, possibilitando reproduzir ou simular todo o espectro visível a partir de somente três cores primárias: vermelho, verde e azul (Fig. 11).

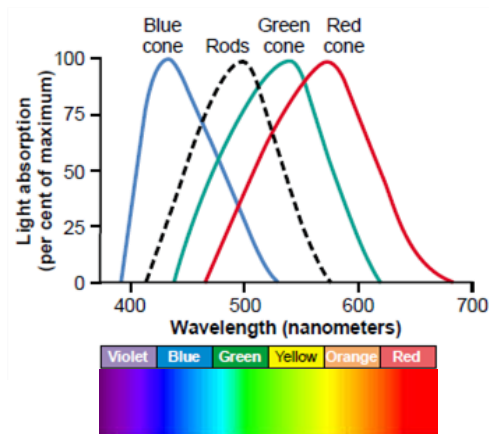


Figura 11 - Representação da absorção de luz pelos bastonetes e pelos cones (azul, verde e vermelho) e o resultado da sobreposição dos mesmos - o espectro visível [9].

2.1.3 Campos Visuais

Cada olho vê uma parte do espaço visual que define o seu campo visual. Os campos visuais de ambos os olhos sobrepõem-se extensivamente para criar um campo visual binocular, sendo que o campo visual total é a soma dos hemicampos visuais direito e esquerdo [31].

Assim como o campo visual é dividido em dois hemicampos distintos, também a retina apresenta uma divisão relativamente à fóvea, distinguindo-se em hemiretina nasal e hemiretina temporal (Fig. 12).

Os axónios das células ganglionares saem dos olhos através do nervo óptico e atravessam parcialmente o quiasma óptico, que é uma estrutura em forma de X pois deriva do encontro dos dois nervos ópticos, pertencentes ao olhos esquerdo e direito. É nesta estrutura que metade dos axónios das células ganglionares cruza para o lado contralateral e os restantes permanecem no lado ipsilateral [28]. Assim, todas as células da região nasal (medial) da retina projectam-se para o lado contralateral do núcleo geniculado lateral, enquanto que todas as células da região temporal (lateral) da retina, se projectam para o lado ipsilateral da mesma estrutura [31].

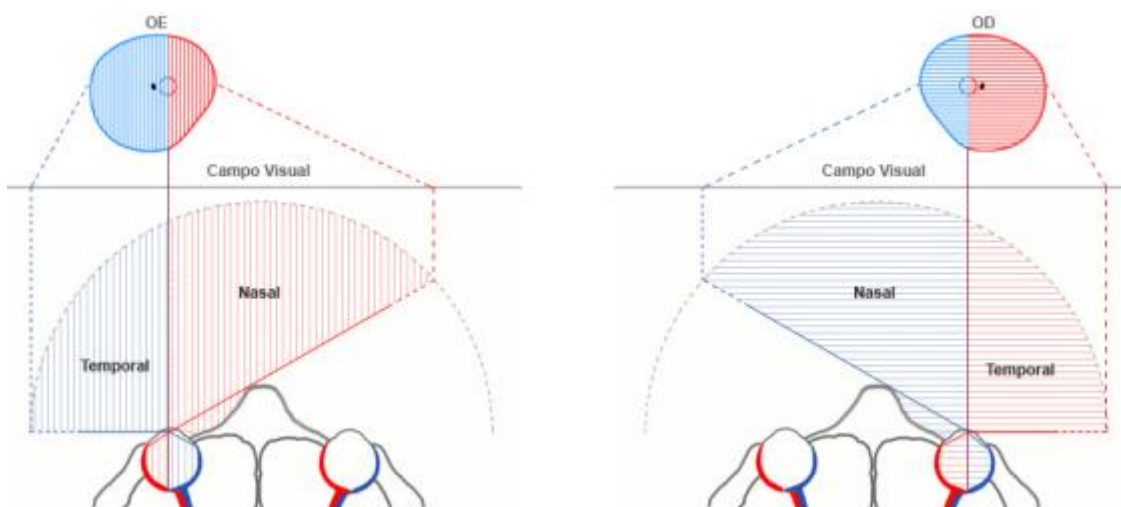


Figura 12 - Representação dos campos visuais correspondentes ao olho esquerdo e ao olho direito [16].

Os estímulos visuais podem ser interpretados por duas vias visuais distintas, a via dorsal e a via ventral [32]. A via dorsal selecciona informações sobre o movimento e localização espacial dos objectos (contém os axónios da retina periférica), enquanto que na via ventral há uma triagem no reconhecimento da forma e cor dos mesmos (contém os axónios da retina central) [32-34].

Todos os estímulos percebidos efectuam um trajecto através do sistema visual, no qual vão sendo depurados até gerarem uma impressão visual única, que é posteriormente analisada no lobo occipital e parietal pelas vias visuais [13, 35].

De uma forma geral, no senso comum, julga-se que os conceitos de percepção e ilusão estão bastante distantes mas, na realidade, não é isso que acontece. Analisemos por exemplo uma situação do quotidiano, quando se vê uma maçã vermelha a cair de uma macieira existe uma sensação de unidade, isto é, a cor, a forma e o movimento do fruto estão associados apenas a um único objecto. No entanto, se a análise for efectuada a partir da retina, as imagens são fragmentadas pelos fotorreceptores e codificadas por circuitos retinianos. Este código é posteriormente enviado pelos nervos ópticos de cada olho para o núcleo geniculado lateral, que se encontra no tálamo, e de seguida é mandado para o córtex visual primário [24, 36-37].

O córtex visual primário é a parte do lobo occipital localizada na parte de trás do cérebro e principalmente na sua porção medial, ao redor da fissura calcarina. É também conhecido como área 17 de Brodman, córtex estriado ou área V1 [38]. É nesta estrutura que ocorre o processamento dos símbolos gráficos [39].

Depois de passar no córtex visual primário, a informação visual é enviada para o córtex visual associativo V2, e seguidamente para o córtex V3. Em cada uma destas áreas, a retina é representada de forma invertida em relação à área anterior. As áreas associativas V2 e V3 têm como função associar as características básicas de cada estímulo visual (forma, orientação, cor, tamanho, entre outros) [37].

Após a passagem da informação pelo córtex visual associativo V3, a via visual divide-se nas duas vias principais de análise (via ventral e via dorsal). A primeira dirige-se para baixo em direcção ao lobo temporal inferior e percepção a realidade do objecto, isto é, responde à questão: “o que é?” ; a segunda dirige-se para cima em direcção ao lobo parietal posterior e procura responder à localização espacial do objecto, reconhece o “onde” [40-41]. O córtex temporal medial (MT ou V5) é responsável pelo processamento do movimento, a área V4 destina-se ao reconhecimento da cor e a forma é processada pelo córtex temporal inferior (IT).

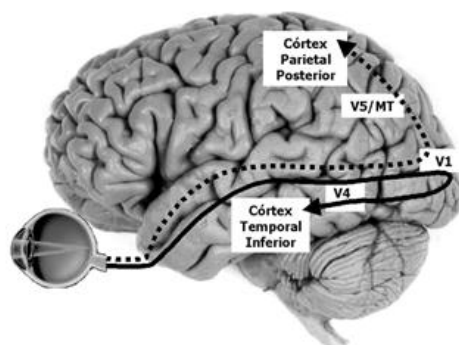


Figura 13 - Esquema simbolizando as duas vias visuais principais. A tracejado pode distinguir-se a via dorsal e a linha contínua representa a via ventral.

As características mais complexas de um objecto são analisadas na via ventral [32]. As células do córtex temporal inferior respondem a uma combinação particular de atributos complexos (por exemplo, atributos que definem um rosto familiar), já o complexo occipital lateral é importante na codificação do objecto; nesta área, atributos em comum, como a cor, profundidade ou orientação, são agrupados ao objecto permitindo destaque em relação ao fundo que o rodeia [42].

No caso da existência de deficiências que causem o impedimento da passagem do estímulo até ao córtex cerebral, o processo da visão é perturbado, dependendo da zona afectada (Fig. 14) [31, 43].

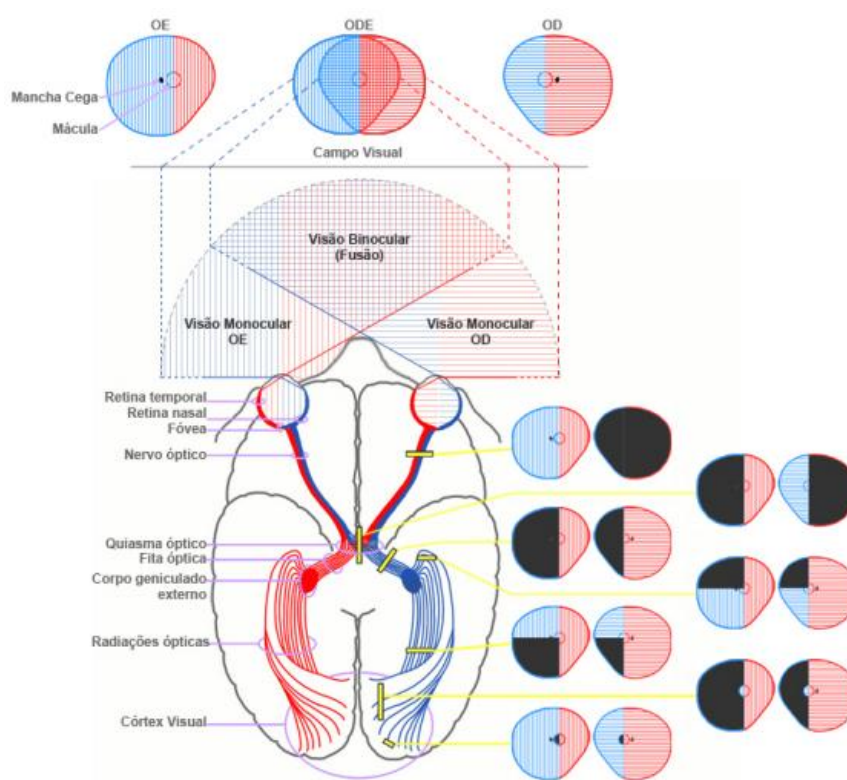


Figura 14 - Representação esquemática das vias ópticas e campos visuais [16].

2.2 Daltonismo

O daltonismo, também designado por discromatopsia, é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores. É uma patologia que surge particularmente associada à transmissão do cromossoma X com o gene para o daltonismo (d), podendo resultar também de lesões de origem neurológica, ou lesões nos órgãos responsáveis pela visão, como são exemplo a doença macular que resulta na visão defeituosa de azul-amarelo, ou pode ainda advir de lesões no nervo óptico que produz defeitos de vermelho-verde.

Os portadores do gene anómalo apresentam dificuldade na percepção de determinadas cores primárias (como o verde e o vermelho), o que se repercute numa percepção anómala das restantes cores do espectro. Esta perturbação é causada pela ausência ou menor número de alguns tipos de cones ou por uma perda de função parcial ou total destes, normalmente associada à diminuição de pigmento nos fotorreceptores que deixam de ser capazes de processar diferencialmente a informação luminosa de cor.

São três os tipos de defeito cromático: protan, deutan e tritan. As terminologias “opia” ou “omalia” permitem classificar a gravidade do defeito. Os defeitos graves levam o sufixo “opia” e os defeitos mais leves e moderados levam o sufixo “omalia”.

2.2.1 Deficiências na percepção da cor

Os defeitos na sensibilidade cromática podem ser divididos em duas grandes classes: defeitos congénitos e defeitos adquiridos [28]. Existem algumas distinções entre estas duas classes como se pode constatar na tabela 1.

Tabela 1 - Diferenças clínicas entre os defeitos congénitos e os defeitos adquiridos da sensibilidade cromática [28].

Congénitas	Adquiridas
Presentes ao nascimento	Início após o nascimento
Alta prevalência em homens	Igual prevalência em homens e mulheres
Tipo e severidade do defeito são estáveis	Tipo e severidade do defeito podem variar
O defeito pode ser classificado de forma precisa	Podem ser difíceis de classificar. Geralmente são inespecíficos
Ambos os olhos são igualmente afectados	Diferenças de tipo de severidade entre o olho direito (OD) e o olho esquerdo (OE)
Acuidade visual é inalterada (excepto no monocromatismo) e o campo visual é normal	Acuidade visual frequentemente reduzida, podendo ser acompanhada de redução do campo visual
Predominam defeitos protan e deutan	Predominam defeitos tritan

Os defeitos adquiridos podem ser devidos a diversos factores como por exemplo alterações nos filtros pré-receptores (cristalino, pigmentos maculares, pupila), redução da densidade óptica dos fotopigmentos dos cones (vermelhos, verdes ou azuis), perda desequilibrada dos tipos de cones e alterações nos níveis de processamento pós-receptores [44].

O daltonismo é um defeito congénito que começou por ser estudado em 1798 pelo cientista inglês John Dalton, que se interessou mais pelo assunto pois apresentava também ele dificuldade na visão cromática, era portador de protanopia [45].

Para que haja percepção daquilo que se está a visualizar, há necessidade de que a luz proveniente do objecto de interesse atravesse os meios de transporte do olho e chegue à retina, que é a parte do olho sensível à luz, sendo a sua superfície composta por terminações nervosas e fotorreceptores.

Mais especificamente na visão das cores, há necessidade da intervenção dos fotorreceptores presentes na retina, os cones e os bastonetes. Os cones associados aos pigmentos vermelho, verde e azul têm sensibilidades espectrais diferentes, portanto, no caso de existirem mutações genéticas relativas a estas estruturas, é óbvio que a visão cromática está comprometida [31]. Deste modo, as sensibilidades espectrais resultarão numa resposta diferente aos comprimentos de onda de luz, levando a uma percepção alterada da cor. Desta forma, conclui-se que os cones responsáveis pela percepção dos diferentes comprimentos de onda funcionam, porém respondem inadequadamente a esse estímulo.

2.2.2 Hereditariedade

O daltonismo é uma patologia que afecta mais frequentemente a população masculina, cerca de 8%, sendo apenas afectada 0.5 a 1% da população feminina, devendo-se este facto à sua associação ao cromossoma X [46-47]. Cada indivíduo recebe um cromossoma sexual de cada um dos progenitores, que determina o seu sexo [48]. No caso da mulher os cromossomas sexuais são iguais e representam-se pelas letras XX; no homem este par é composto por dois cromossomas diferentes, que se representam pelas letras XY [43].

Sendo o daltonismo associado a genes recessivos (d) localizados no cromossoma X (sem alelos no Y), a mulher pode possuir o alelo para a deficiência e esta não se manifestar, porém no homem o mesmo não acontece.

Assim, para que uma mulher seja daltónica, ela tem de ter os seus dois cromossomas X afectados. Portanto, o seu pai teria de ser daltónico e a sua mãe teria de possuir pelo menos um dos cromossomas anómalos. No caso do homem, para que ele possua a deficiência é suficiente que o seu único cromossoma X esteja afectado, bastando para isso que a mãe seja portadora do gene, não havendo necessidade de ser daltónica, pois uma mulher pode ser portadora da deficiência e não a manifestar.

Pode constatar-se que, as mulheres heterozigóticas (portadoras) não manifestam a característica mas transmitem-na aos seus descendentes, e os homens daltónicos apenas transmitem a sua deficiência às filhas (Fig. 15).

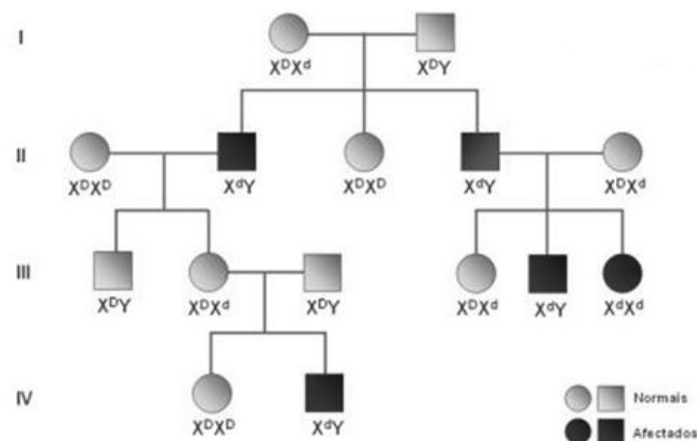


Figura 15 - Representação esquemática da transmissão genética do daltonismo

Esta patologia é congénita e resulta principalmente de alterações na sensibilidade espectral dos fotopigmentos M/L em decorrência de alterações nos genes responsáveis pela sua produção. Essas variações são atribuídas à recombinação desigual entre os genes durante o *crossing over*, ou seja, quando o par de cromossomas X se alinha e troca informação genética durante a meiose [26, 49-51]. Por exemplo, se o gene responsável pelo pigmento tipo M se alinhar com o gene responsável pelo pigmento L (*crossing over* intergenético), existem dois resultados possíveis. Desta forma, um dos cromossomas recebe duas cópias do gene para o pigmento M e uma do gene para o pigmento L, enquanto o outro cromossoma fica sem o gene para o pigmento M. Os descendentes que herdarem o primeiro cromossoma serão tricromatas padrão, porém os que receberem o segundo serão dicromatas. No segundo cenário provável, temos um *crossing over* intergénico que produz genes híbridos, o que pode acarretar, dependendo da hibridização específica, a perda de um pigmento, a produção de um pigmento normal, ou um pigmento com sensibilidade espectral deslocada em relação às curvas de sensibilidade espectral padrão [26, 49, 51].

2.2.3 Tipos de Daltonismo

Existem três grupos principais de anomalias das cores a considerar: monocromacias, dicromacias e tricromacias anómalas [28].

A ausência total de uma população de cones é denominada de anopia (por exemplo, protanopia), porém quando se trata de uma deficiência relativa é chamada uma anomalia (por exemplo, protanomalia).

Desta forma, considera-se que um indivíduo possui monocromacia quando há apenas percepção de luminosidade na visão. Esta luminosidade é percebida pelos bastonetes, que permitem diferentes variações na escala de cinzentos, sendo atribuída normalmente a estes

indivíduos a “visão a preto e branco”. Existem dois tipos de monocromatas, o típico e o atípico, o primeiro é caracterizado pelo monocromatismo dos bastonetes e corresponde a uma discriminação de cores nulas pela falta de cones. Ocorre na população humana com uma incidência de 0,003% nos homens e de 0,002% nas mulheres. O monocromata atípico possui um monocromatismo de cones, assim a não discriminação de cores é devido à falta de sinais oponentes devido à presença de apenas um tipo de cone. É muito raro na população humana.

Quando um indivíduo possui apenas dois tipos diferentes de cones, diz-se que possui dicromacia [46]. Esta anomalia pode ser classificada em três tipos diferentes: a protanopia, a deutanopia e a tritanopia. A protanopia caracteriza-se pela cegueira da cor vermelha, isto é os indivíduos portadores são completamente insensíveis ao vermelho intenso já que não possuem fotorreceptores para esta cor, resultando na impossibilidade de discriminar cores no segmento verde-amarelo-vermelho do espectro [9, 15]. Este problema afecta cerca de 2% da população masculina [52].

A deutanopia salienta-se pela cegueira da cor verde, desta forma os indivíduos portadores não possuem fotorreceptores para esta cor resultando, igualmente, na impossibilidade de discriminar cores no segmento verde-amarelo-vermelho do espectro.

A tritanopia distingue-se pela cegueira da cor azul, os indivíduos portadores apresentam ausência de fotorreceptores para a cor azul, resultando na impossibilidade de ver cores na faixa azul-amarelo.

Por último considera-se a tricromacia anómala que resulta de uma mutação no pigmento dos fotorreceptores dos cones retinianos e manifesta-se em três anomalias distintas: a protanomalia, a deuteranomalia e a tritanomalia. A protanomalia caracteriza-se pela presença de uma mutação do pigmento sensível às frequências mais longas (correspondentes aos “cones vermelhos”) [52]. Resulta numa menor sensibilidade ao vermelho e num escurecimento das cores perto das frequências mais longas (que pode levar à confusão entre vermelho e preto) e atinge cerca de 2% da população masculina [52].

Os indivíduos portadores de deuteranomalia apresentam uma mutação do pigmento sensível às frequências intermédias (correspondentes aos “cones verdes”) [52-53]. Resulta numa maior dificuldade em discriminar o verde e é responsável por cerca de 6 a 7% dos casos de daltonismo masculino [52].

A tritanomalia caracteriza-se pela presença de uma mutação do pigmento sensível às frequências curtas (correspondentes aos “cones azuis”) [52]. É a forma mais rara, pois impossibilita a discriminação de cores na faixa do azul-amarelo. O gene afectado situa-se no cromossoma 7 ao contrário das outras tricromacias anómalas, em que a mutação genética atinge o cromossoma X.

3. Física da Cor

A luz é uma radiação electromagnética que possui um comprimento de onda visível pelo olho humano, isto é, define-se por ser qualquer radiação electromagnética que se situa entre as gamas infravermelho e ultravioleta. As três grandezas físicas básicas da luz são a luminosidade, a saturação e a tonalidade.

3.1 Atributos percentivos da cor

A visão cromática humana é iniciada pela absorção da luz por três classes de cones distintos, os de onda curta ou azul, os de onda média ou verde e os de onda longa ou vermelho, que têm sobreposição de curvas de sensibilidade espectrais com comprimentos de onda de absorção máxima a aproximadamente 420, 530 e 560 nm, respectivamente (Fig. 11) [54-57].

A cor não é uma característica absoluta de um objecto, é uma percepção humana, ou seja, a cor de um objecto é uma sensação [58-59]. Cada indivíduo tem uma percepção da cor diferente, já que possui características fisiológicas e psicológicas distintas. Esta sensação é produzida pelos raios luminosos nos órgãos visuais, sendo posteriormente interpretada no cérebro. Os estímulos da cor detectados pela retina são provocados pela distribuição de energia e as propriedades espectrais da luz visível que passa através, ou é refletida, por um objeto. Desta forma, a cada cor é-lhe pertencente um espectro electromagnético distinto.

A cor branca é o resultado da sobreposição de todas as cores. A cor preta, em contrapartida, é o contrário e define-se como sendo a ausência de cor.

As características mínimas necessárias para se exprimir uma cor são a luminosidade, a tonalidade e o grau de saturação [28, 58, 60].

3.1.1 Luminosidade

A luminosidade descreve a quantidade de luz, pois está relacionada com a intensidade da energia magnética, sendo possível a detecção desta mesmo quando a percepção de cor é ainda inexistente. Definindo luminosidade temos que esta, é também caracterizada como o brilho relativo ou seja, a luminosidade é o brilho de um determinado objecto tendo o branco absoluto com referência. A luminosidade pode variar numa escala de escuro a claro tendo como limites definidos o preto e o branco, respectivamente; porém, o brilho apresenta variações entre escuro (turvo) a claro.

3.1.2 Saturação

A saturação depende das proporções ocupadas por cada comprimento de onda na radiação eletromagnética. É definida como a pureza da luz proveniente de uma superfície ou fonte de

luz, permitindo a distinção entre a cor natural ou aquela que é pigmentada artificialmente. Quanto maior a quantidade de fotões da luz num determinado comprimento de onda, maior será a saturação, contudo, se houver mistura de alguns comprimentos de onda, menor será a saturação.

3.1.3 Tonalidade

A tonalidade é o que faz com que uma cor seja identificada como azul, verde, laranja, entre outros, de acordo com as diferentes regiões do espectro, isto é, corresponde ao comprimento de onda predominante. Num exemplo prático, temos que o vermelho é considerado uma cor pura, enquanto o rosa não, sendo considerado um vermelho pálido, ou seja, uma cor proveniente da primeira mas, menos saturada.

3.2 Tipos de cor

Existem dois tipos distintos de cor, a cor-pigmento e a cor-luz. A primeira é a substância usada para imitar os fenómenos da cor-luz. A cor-pigmento representa cores que podem ser extraídas da natureza, como materiais de origem vegetal, animal ou mineral, e que da sua mistura, através de processos industriais, surge o pigmento. Assim, é representada por todos os objectos que nos rodeiam e que apresentam cor que lhe foi incutida artificialmente.

A cor-luz, baseia-se na luz solar e pode ser vista através dos raios luminosos, e representa a própria luz, capaz de se decompor em várias cores.

Por exemplo, a cor preta é definida em cor-pigmento como a ‘mistura de todas as cores’, contudo em cor-luz, é designada como ‘ausência de luz’.

3.3 Síntese aditiva e síntese subtractiva

No início do século XIX, Thomas Young (1773-1829) sugeriu a teoria tricromática, onde acreditava que o olho humano possuía receptores para três cores primárias distintas - vermelho, verde e azul. As restantes cores resultariam da combinação destas e segundo ele este processo acontecia a nível cerebral. Portanto, se alguma destas três cores não fosse percebida ao nível da retina, as cores resultantes da mistura dessa cor tornar-se-iam incapazes de ser percebidas [30]. Hermann von Helmholtz (1821-1894) estudou e aprofundou a teoria de Young chegando à conclusão de que é a síntese das três cores primárias que possibilita ao cérebro humano realizar todas as matizes de cores do espectro visível [30]. Porém, quando Maxwell (1831-1879) se dedicou ao estudo das teorias anteriores, conseguiu não só demonstrar que qualquer cor pode advir da mistura das três cores primárias como apresentou ainda uma explicação para a incapacidade da percepção de algumas cores por

determinadas pessoas, comprovando as ideias de Young e Helmholtz. Esta teoria é ainda hoje considerada uma base no que se refere à compreensão da visão cromática.

Portanto, é designado por síntese aditiva de cores todo o processo no qual existe a projecção simultânea sobre um alvo branco (quando iluminado por uma luz branca), de feixes monocromáticos de igual intensidade, vermelho (R), verde (G) e azul (B) [61].

A síntese subtractiva de cores resulta da filtragem dos feixes reflectidos dos espectros. Designam-se por cores complementares aquelas cuja soma entre a luz reflectida com a luz absorvida resulta da luz branca incidente [61].

Existem portanto 2 grupos distintos de cores, no primeiro grupo estão o vermelho (R), o verde (G) e o azul (B), que permitem as cores resultantes magenta (M), derivada da adição de vermelho e azul; ciano (C) que advém de azul com verde e finalmente o amarelo (Y) por adição de vermelho e verde. No segundo grupo encontram-se as resultantes do primeiro, ou seja, magenta, ciano e amarelo que são as cores complementares (Fig.16).

As cores resultantes da sobreposição das cores primárias, duas a duas, designam-se por cores secundárias.

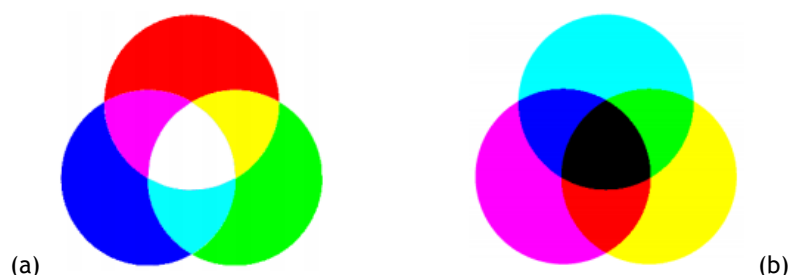


Figura 16 - Representação da síntese aditiva das cores primárias (a) e da síntese subtractiva das cores complementares (b).

Contudo, esta divisão pode ser feita de outra forma, considerando apenas o processo aditivo, que no caso da figura 16-a representaria a adição das cores primárias RGB enquanto luz, e na figura 16-b caracterizaria a adição das cores primárias enquanto pigmento. No primeiro caso o que se adiciona é a luz, já no segundo o elemento a ser adicionado será o pigmento.

3.4 Visão de cores

Os objectos reflectem diferentes comprimentos de onda e dão origem à sensação de cor [62]. A apreciação das cores é uma função dos cones que respondem à luz visível, existindo três tipos diferentes que possuem uma faixa delimitada de sensibilidade espectral. Quando existem diferentes frequências espectrais, cada população de cones é estimulada em graus diferentes, de tal modo que todas as cores existentes no espectro visível podem ser reproduzidas por estimulação diferencial [63]. Para analisar a visão das cores é necessário ter

em conta não só a sensibilidade espectral, mas também o brilho (luminosidade) e a saturação (quantidade de luz branca presente) da cor.

A percepção das cores é máxima no centro da retina mas, a percepção de vermelho/verde desaparece sendo que perifericamente toda a percepção da cor está ausente. Na fóvea, os cones responsáveis pelo azul não estão presentes, revelando-se menos numerosos do que os restantes cones (vermelho e verde) nas restantes regiões da retina (Fig. 17).

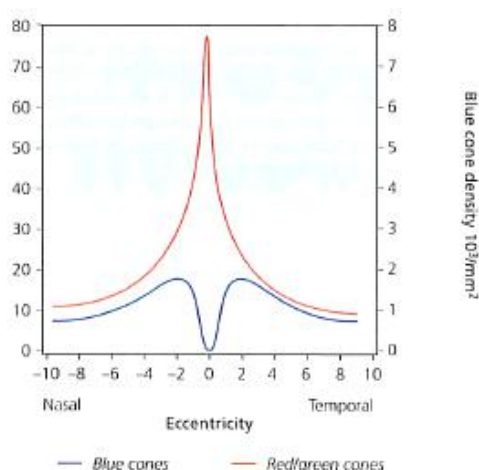


Figura 17 - Gráfico representativo da densidade de cones na retina [62].

Relativamente à sensibilidade espectral da retina humana, sabe-se que ela é susceptível a três picos do espectro, situados a 440-450nm (azul), 535-555nm (verde) e 570-590nm (vermelho) [56]. De seguida, tendo em conta o modo pelo qual as faixas de comprimento de onda das sensibilidades dos cones se sobrepõem, é possível observar que as curvas possuem uma ligeira inclinação no lado do comprimento mais curto da onda e quando se aproximam do comprimento mais longo da onda sofrem uma inclinação mais abrupta. Pode constatar-se que todas as cores do espectro visível podem ser reproduzidas a partir da mistura de três comprimentos de onda de referência, sendo que a intensidade da cor é equilibrada pelas somas algébricas das intensidades dos comprimentos de onda de referência (1), de tal modo que:

$$\text{Cor requerida} = I_1\lambda_{\text{vermelho}} + I_2\lambda_{\text{verde}} + I_3\lambda_{\text{azul}} \quad (1)$$

Onde,

I_x , intensidade individual de cada cor.

Um sistema de referência universalmente aceite para realizar a comparação de cores é o estabelecido pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), sendo este sistema representado por um diagrama de cromaticidade. Esta comissão estabeleceu como comprimentos de onda de referência os 450nm, 520nm e 650nm, podendo qualquer cor ser igualada através da variação da luminosidade de cada comprimento de onda, ou pela adição de luz branca.

4. O registo da actividade cerebral

A electroencefalografia é largamente utilizada para a realização de diversos testes e diagnósticos neurológicos, já que, permite o registo da variação da actividade eléctrica do cérebro, originado pela condução do impulso nervoso. Contudo, não é o único método existente para análise da função cerebral. Assim, os métodos conhecidos hoje em dia para efectuar o mapeamento das ondas cerebrais, podem dividir-se em métodos invasivos e não-invasivos. Os primeiros implicam a implantação de eléctrodos no interior do cérebro e permitem o registo da actividade dos impulsos eléctricos de um ou múltiplos neurónios, o registo de potenciais de campo locais e potenciais de eventos relacionados intracranianos, bem como registos polarográficos dos níveis de oxigénio no tecido cerebral. Estes métodos são apenas utilizados em casos clínicos muito específicos ou para fins de investigação, sendo neste caso aplicados em animais. As abordagens não invasivas, para além do electroencefalograma (EEG), incluem outros métodos como a obtenção de imagem por ressonância magnética (RM), a tomografia por emissão de positrões (PET) e a magnetoencefalografia (MEG) [64]. Tanto os métodos invasivos como os não invasivos fornecem-nos várias janelas sobrepostas, mas ainda assim diferentes, que nos permitem olhar para o que está a acontecer no cérebro vivo a partir de diferentes pontos de vista.

Pensa-se que a actividade neuronal do cérebro humano se inicia entre a semana 17^a e 23^a do desenvolvimento pré-natal. Acredita-se que a partir desta fase inicial e durante toda a vida os sinais eléctricos gerados pelo cérebro representam não só a função do cérebro, mas também o estado de todo o corpo. Esta hipótese fornece uma grande motivação para aplicar métodos avançados de processamento de sinal digital nos sinais obtidos pelo EEG [10].

Tendo em conta todas as suas potencialidades, será utilizada deste modo para a avaliação das ondas cerebrais em indivíduos daltónicos quando sujeitos a estímulos cromáticos, comparativamente com indivíduos normais, sendo este o principal objectivo do trabalho.

4.1 O electroencefalograma

O electroencefalograma, usualmente abreviado para EEG, baseia-se no estudo e análise dos campos eléctricos do cérebro registados pela diferença de potencial amplificada entre os eléctrodos colocados no couro cabeludo [43, 65-66].

Um sinal de EEG é uma medição das correntes que fluem durante as excitações sinápticas das dendrites de muitos neurónios no córtex cerebral [67]. Quando as células do cérebro (neurónios) são activadas, as correntes sinápticas são produzidas dentro das dendrites. Esta corrente gera um campo electromagnético e um campo eléctrico secundário sobre o couro cabeludo mensurável por sistemas de EEG [10].

As diferenças de potenciais eléctricos resultam da soma dos potenciais locais pós-sinápticos que criam dipolos eléctricos entre o corpo de um neurónio e as dendrites. A corrente no cérebro é gerada principalmente pelo bombeamento de catiões de sódio, potássio, cálcio e de aniões de cloro, através das membranas dos neurónios em direcção ao potencial de membrana [10].

A cabeça do ser humano está organizada em diversas camadas, das quais se destacam o couro cabeludo, crânio, cérebro, entre outras. O crânio atenua os sinais eléctricos em aproximadamente uma centena de vezes mais do que os tecidos moles. Por outro lado, uma parte do ruído é de origem biológica, isto é, pode ser gerado pelo próprio paciente (produto de potenciais oculares e musculares, por exemplo). Existe ainda outra parte do ruído que é gerada por campos eléctricos externos ao paciente tais como, a rede eléctrica e equipamentos electrónicos (inclusive pelo próprio sistema de aquisição). Apenas um grande número de neurónios activos pode gerar um potencial capaz de ser registado usando eléctrodos no couro cabeludo. Estes sinais são depois amplificados de forma a serem analisados [10].

4.1.1 Ondas cerebrais

Existem inúmeros distúrbios cerebrais passíveis de diagnóstico por observação visual de sinais de EEG. Em adultos saudáveis, as amplitudes e frequências destes sinais variam de um ser humano para outro, bem como durante a alternância entre a vigília e o sono. As características das bandas de frequência também se alteram com a idade. Existem cinco bandas diferenciadas pelos seus diferentes intervalos de frequência. Estas bandas de frequências, de baixas para altas frequências são respectivamente: Delta (δ), Teta (θ), Alfa (α), Beta (β) e Gama (γ) [9].

A frequência, pode ser reduzida ou eliminada devido a diversos factores, tais como abertura ou fecho dos olhos, audição de sons estranhos ou extrínsecos ao exame, pela ansiedade, pela concentração mental ou atenção.

As ondas Teta (θ) encontram-se dentro do intervalo de 4 - 8 Hz [64]. Definem-se como predominantes nos primeiros 2 a 3 anos de vida. Nos adultos em vigília, o aumento das ondas θ são anormais e são causadas por vários problemas patológicos. As alterações no ritmo das ondas θ são geralmente examinadas para estudos motivacionais e emocionais [10].

As ondas Beta (β) variam no intervalo de 14 – 30 Hz, são bastante comuns no estado de vigília e estão associadas ao pensamento, à atenção e encontram-se em adultos normais. Num estado de pânico esta onda encontra-se elevada. As actividades rítmicas das ondas β localizam-se principalmente nas regiões frontais e centrais. A amplitude do ritmo β é normalmente abaixo dos 30 μ V [10].

As ondas Delta (δ) por sua vez encontram-se dentro do intervalo de 0,5 - 4Hz. Estas ondas são principalmente associadas ao sono profundo estando presentes também em vigília até ao segundo ano de vida [10].

As frequências acima de 30 Hz (30 Hz - 100 Hz) correspondem à banda Gama (γ) (por vezes chamada de onda β rápida). As amplitudes destes ritmos são muito baixas (1-2 μ V) porém, a sua detecção pode ser usada para confirmação de certas doenças cerebrais. Contudo, o interesse principal por estas oscilações deve-se ao facto de que a actividade γ está intimamente relacionada com funções cognitivas sensoriais e depende fortemente dos parâmetros de estímulo físico. Está deste modo ligada a funções cognitivas, como são exemplo a atenção e a memória de reconhecimento. As ondas Gama (γ) existem de forma espontânea e/ou podem ser evocadas, induzidas ou emitidas com latências diferentes. As regiões de altas frequências de EEG e níveis mais elevados de fluxo sanguíneo cerebral (bem como a absorção de oxigénio e glicose) estão localizadas na área frontocentral [10, 68].

As ondas Alfa (α) aparecem na parte posterior da cabeça e geralmente são encontradas na região occipital do cérebro. Estas podem ser detectadas nas áreas posteriores do cérebro. Para as ondas α a frequência situa-se dentro do intervalo de 8 - 13 Hertz (Hz) e normalmente aparecem como sinais em forma arredondada ou sinusoidal (Fig. 18) [64]. No entanto, em casos raros, pode manifestar-se como ondas pontiagudas. Em tais casos, a componente negativa parece ser acentuada e a componente positiva parece ser arredondada. A maioria dos indivíduos produz ondas α com os olhos fechados. Uma onda α tem uma amplitude normalmente inferior a 50 μ V [10].

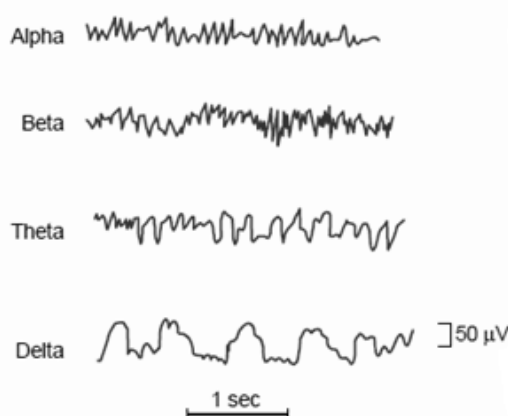


Figura 18 - Representação dos diferentes tipos de ondas cerebrais num electroencefalograma normal [9].

4.1.2 O equipamento de EEG

Nos últimos 50 anos, a máquina de EEG revolucionou-se devido à possibilidade da aquisição de um grande número de canais, substituindo os amplificadores de tubo em vácuo por circuitos integrados, assim como devido à substituição da gravação em papel convencional pelo

osciloscópio e pelo armazenamento computadorizado. Seguidamente pode observar-se de forma esquemática um diagrama dos componentes que constituem um equipamento de EEG (Fig. 19) [69].

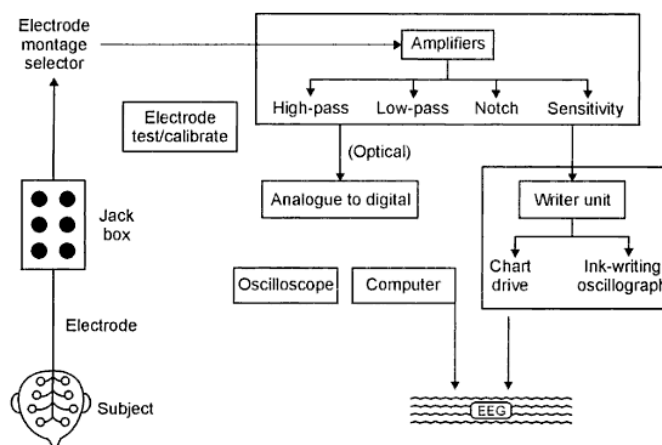


Figura 19 - Diagrama esquemático demonstrativo das unidades funcionais principais de um equipamento de electroencefalograma [69].

4.1.3 Os eléctrodos

Os eléctrodos têm como função captar os potenciais eléctricos corticais. Esta função é feita com o auxílio de um gel condutor que actua como uma interface entre o couro cabeludo e o eléctrodo. Além de conduzir o potencial eléctrico, o electrogel também reduz os artefactos de movimento ao estabilizar o eléctrodo no couro cabeludo. O eléctrodo deve então ser um bom condutor e deve ainda fazer um bom contacto através de uma camada dupla de carga [69]. Por isso, os eléctrodos são feitos de metais, sendo o de cloreto de prata dos mais utilizados.

Para manter uma relação constante entre a localização dos eléctrodos e as estruturas cerebrais subjacentes, é necessário um sistema de posicionamento dos eléctrodos. Aquele que é o mais utilizado é o sistema 10-20 de colocação de eléctrodos aprovado pela International Federation of Societies for EEG and Clinical Neurophysiology (IFSECN).

De seguida pode observar-se a representação esquemática do sistema 10-20 de colocação de eléctrodos com as respectivas ondas adquiridas através de cada eléctrodo num paciente normal (Fig. 20).

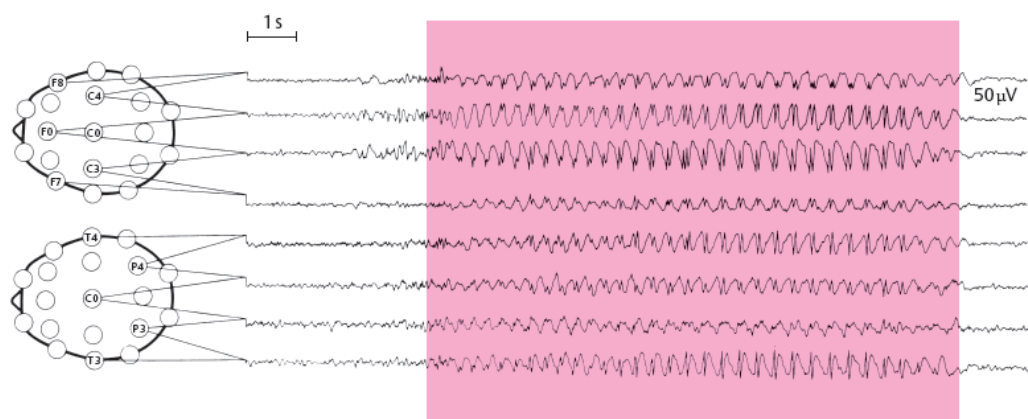


Figura 20 - Diagrama representativo da colocação dos electrodos pelo sistema 10-20 incluindo os respectivos traçados das ondas cerebrais de um paciente normal [43].

5. Procedimento Experimental

A parte experimental deste trabalho consistiu em duas etapas distintas, a primeira constava na realização de testes experimentais de visão das cores com o intuito de verificar o tipo de daltonismo apresentado pelos indivíduos. De seguida procedeu-se à compilação dos resultados e respectiva catalogação dos indivíduos. A segunda etapa englobava a realização do exame electroencefalográfico, seguindo-se a aquisição, processamento e interpretação dos dados provenientes do mesmo.

Para este trabalho foram seleccionados 8 indivíduos, 4 deles identificavam-se como sendo daltónicos (apresentados com as siglas FC, RD, MB e JM) e 4 deles manifestavam visão normal das cores (expostos com as siglas HS, LC, ND e PG), todos do sexo masculino e com idades compreendidas entre os 9 e os 31 anos. O processo de selecção decorreu nos meses de Janeiro a Março de 2012.

Os exames de detecção de daltonismo foram efectuados no laboratório de Optometria localizado na Fábrica do Moço da Universidade da Beira Interior (UBI) nos meses de Março e Abril de 2012.

Os exames electroencefalográficos foram realizados no laboratório de Electrotecnia, localizado na Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior (UBI) no mês de Junho de 2012.

5.1 Exames clínicos da visão de cores

Os testes enunciados de seguida, tiveram como principal objectivo a constatação relativamente ao tipo de daltonismo que cada indivíduo apresentava.

A visão normal das cores pode ser analisada de acordo com diversos tipos de equipamentos [62]. Os testes para visão de cores obedecem à padronização de reprodução de cores proposta pela Comissão Internacional de Iluminação (“Comission Internationale de l’Éclairage - CIE”), de 1932 [28]. Estima-se que existam aproximadamente 200 métodos desenvolvidos ao longo dos anos para este efeito, mas, atualmente apenas cerca de 20 testes são comumente encontrado [70]. De seguida serão apenas citados os testes para a avaliação clínica da sensibilidade cromática mais utilizados e que estão disponíveis comercialmente. Não é possível enumerar um teste ideal que dê um diagnóstico exacto e que possa ser aplicável a todos os pacientes; contudo, através da aplicação de dois ou três testes independentes o resultado dos mesmos é já considerado mais confiável [28].

O teste de Farnsworth Munsell Hue das 100 tonalidades, usualmente abreviado para FM 100 Hue, e as placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara são os testes utilizados mais

comummente para examinar a discriminação das cores e avaliar defeitos no eixo vermelho-verde, respectivamente.

O teste D15 é uma adaptação do teste FM 100 Hue, já que consiste no seu encurtamento, sendo um teste de arranjo de cores constituído apenas por 15 peças. É utilizado para a demonstração gráfica de defeitos também no eixo vermelho-verde, mas a análise é feita de uma forma bastante mais rápida. Tal como o teste de Ishihara, existem outras placas de teste de origem pseudo-isocromáticas, as pertencentes à série de Hardy-Ritcher-Rand ou o City University System que possuem a importante vantagem de alargar o exame para a avaliação do espectro azul. Para que a análise com este tipo de teste se processe de forma adequada é necessário que a observação se dê sob condições de luminosidade específicas, isto é, devem ser visualizadas sob condições padrão de luz branca.

O teste de Farnsworth Munsell Hue é um exame clínico que possui todo o espectro, por isso permite a detecção dos três tipos de defeito: Protan, Deutan e Tritan, pois identifica defeitos em vários eixos. Neste exame uma série de pastilhas coloridas (84 em número) estão dispostas em quatro bandejas separadas (Fig. 21). A diferença entre as pastilhas é graduada de tal forma que há uma unidade de ‘diferença apenas perceptível’ entre elas. Cada uma das bandejas cobre uma parte distinta do espectro e é disposta ao paciente uma de cada vez. As pastilhas são retiradas da bandeja e misturadas entre si, permanecendo apenas nas extremidades da bandeja uma pastilha de referência. De seguida, é solicitado ao paciente que ordene as pastilhas em ordem cromática, sendo esta tarefa realizada debaixo de uma luz branca padrão. O desalinhamento das pastilhas da sua posição correcta na série cromática é de seguida contado e marcado numa tabela padrão, quanto maior for o desvio entre as pastilhas, menor será a sensibilidade cromática.



Figura 21 - Representação do teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades [71].

Se a realização deste teste for realizada em indivíduos normais, apenas uma ou duas pastilhas serão colocadas de forma errada assim, a folha de contagem parecerá um pequeno círculo. Já se o teste for realizado em indivíduos que apresentam algum tipo de anomalia das cores, o

gráfico torna-se deformado ao longo de um eixo particular. O eixo de distorção é típico de uma deficiência de uma cor particular, estando representados de seguida exemplos de protanomalia, deuteranomalia, tritanomia e inespecífico, respectivamente (Fig.22). Os pacientes com defeitos de cores adquiridos inespecíficos apresentam usualmente um gráfico com erros a toda a volta do círculo, como é possível constatar pela observação da respectiva figura.

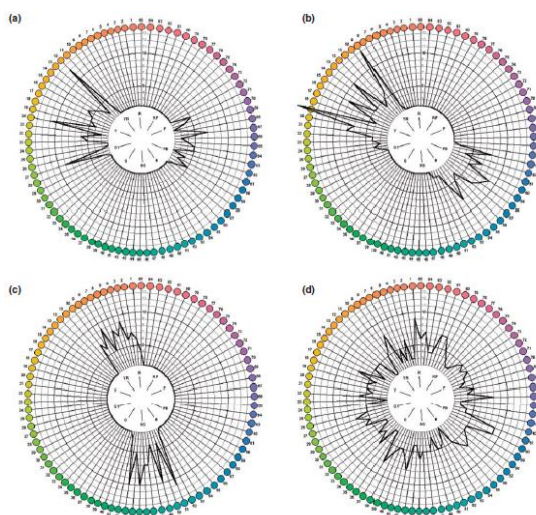


Figura 22 - Gráficos polares do teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades, exemplificando casos de defeitos da sensibilidade cromática dos tipos protanomalia (a), deuteranomalia (b) tritanomia (c) e inespecífico (d) [28].

Um teste ao qual se recorre com bastante frequência para verificar distúrbio entre vermelho-verde é o teste realizado com as placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara. Este exame consiste numa sequência de placas que são compostas por uma matriz de pontos dispostos de forma a mostrar um número no centro. Os pontos que constituem os números são visíveis para as pessoas com visão vermelho-verde normal, mas são confundidas com as cores adjacentes por aquelas que apresentam deficiência nesse eixo de cores. As manchas de cor são estrategicamente elaboradas de forma a serem isocromáticas de tal modo que as manchas que constituem os caracteres não podem ser percebidas por diferenças de contraste (Fig. 23).

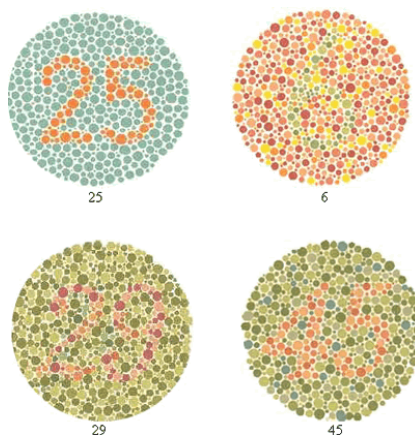


Figura 23 - Representação de exemplos de placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara [72].

O 'The City University Colour Vision Test' é um teste ao qual também se recorre diversas vezes por ser de fácil acesso quer no mercado, quer a nível económico. É designado desta forma porque foi desenvolvido por investigadores da City University, em Londres, Reino Unido [73]. Neste teste, são apresentados ao indivíduo diversos cartões pretos com cinco bolas coloridas no centro (Fig. 24). Existe uma cor central e quatro cores periféricas, e ele terá de mencionar qual das quatro cores periféricas (cima, baixo, direita ou esquerda) é a mais parecida com a central. Apenas uma das quatro cores restantes é a mais semelhante com a cor central, ao passo que as outras três servem apenas para gerar confusões isocromáticas típicas indicativas de deficiências a nível do vermelho, verde e azul.



Figura 24 - Representação de exemplos contidos no 'The City University Colour Vision Test' [73].

Na determinação de daltonismo é ainda utilizado outro teste denominado Anomaloscópio de Nagel que permite a avaliação quantitativa dos defeitos da visão cromática [15]. Consiste num aparelho no qual o paciente tem o seu campo de visão dividido em duas partes distintas, uma delas encontra-se iluminada por uma luz monocromática amarela, a outra está iluminada por luzes monocromáticas distintas, verdes e vermelhas [15]. É solicitado ao paciente que tente igualar os dois campos recorrendo à alteração da razão entre a intensidade das luzes distintas presentes em cada um dos campos, isto é, é-lhe pedido que regule a intensidade das luzes vermelha e verde comparativamente com a intensidade da luz amarela.

Um teste também utilizado para determinar este tipo de problema é o teste das Lãs de Holmgreen, que consiste basicamente na avaliação da capacidade de separar determinados fios de lã de cores distintas e é usualmente mais usado no diagnóstico a crianças.

O teste disponibilizado comercialmente pela Cambridge Research Systems (Rochester, UK) sob o nome de Cambridge Colour Test (CCT) inclui-se também no grupo dos mais utilizados. Trata-se de um teste projetado para a determinação rápida de limiares de discriminação de cor, a partir do modo como o sujeito responde à variação de cromaticidade de um alvo em relação a um fundo. Contrariamente aos descritos acima, este teste necessita da utilização de um computador pois consiste na apresentação, na tela de um monitor, de um mosaico de

pequenos discos que variam tanto em tamanho como em luminosidade. Uma parcela dos discos é definida com cromaticidade diferente da do fundo, formando um alvo em forma de C de Landolt (Fig. 25). Os indivíduos são instruídos a indicar a orientação da abertura do C (esquerda, direita, baixo, cima), que varia de uma apresentação do arranjo para outra, pressionando o botão correspondente numa caixa de resposta ou informando verbalmente. A diferença cromática entre o alvo e o fundo é aumentada ou diminuída adaptativamente durante o teste, de acordo com o desempenho do sujeito, segundo o método psicofísico de escada.



Figura 25 - Exemplo do arranjo de estímulos utilizado originalmente no teste Cambridge Colour Test.

Na realização desta parte experimental, os testes a que os indivíduos se submeteram foram apenas três dos acima enunciados. Estes eram realizados sempre na mesma ordem, ou seja, primeiro visualizavam as placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara, de seguida o ‘The City University Colour Vision Test’ e finalmente era-lhes apresentado o teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades. As grelhas de registo dos respectivos testes podem ser visualizadas no anexo I.

5.1.1 Iluminação e metodologia para testes de visão de cores

A avaliação da sensibilidade cromática está sujeita a padrões específicos de iluminação. A CIE padronizou cinco tipos básicos de fontes luminosas, denominadas iluminantes, distinguidos em A, B, C, D55 e D65 [28, 70, 74]. Essa padronização baseia-se na temperatura de cor (ou cromaticidade) de cada uma das diferentes fontes luminosas. A temperatura de cor é a grandeza científica pela qual se mede o equilíbrio dos comprimentos de onda encontrados em qualquer luz “branca”. Este termo começou a ser utilizado originalmente, para descrever a “brancura” da luz da lâmpada incandescente. A temperatura da cor está diretamente relacionada com a temperatura física do filamento nas lâmpadas incandescentes, daí que a escala de temperatura Kelvin (K) seja utilizada para descrever a temperatura da cor. A cromaticidade é expressa também em Kelvin (K) ou como coordenadas x, y no Diagrama de Cromaticidade da CIE [28].

A lâmpada mais recomendada é a de Macbeth (GretagMacbeth Corporation), que corresponde à fonte iluminante C, e em concordância com a padronização da CIE corresponde à luz do dia[75]. Esta lâmpada permite uma temperatura de cor de 6.740° Kelvin, porém, devido ao elevado custo de obtenção têm-se equacionado outras alternativas [76].

O iluminante utilizado para este trabalho experimental foi o recomendado pela marca de fabrico de cada um dos testes de visão das cores realizados.

Neste tipo de diagnóstico não são apenas importantes o tipo de iluminador e os testes realizados, outro factor relevante é também a posição do indivíduo. Este deve encontrar-se sentado, relaxado e com o mínimo de estímulos extrínsecos para a sua perturbação. É de salientar que em ambas as partes experimentais (diagnóstico do tipo de daltonismo e electroencefalograma) o voluntário se encontrava numa sala com condições de luminosidade aumentada. Contudo, tentou enfatizar-se o objecto de observação útil para o exame, no primeiro caso, as placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara, o teste de Farnsworth Munsell de 100 tonalidades e o ‘The City University Colour Vision Test’, enquanto no segundo exame os cartões coloridos eram os que mereciam mais atenção. Relativamente à distância observador-objecto, nas duas etapas deste trabalho experimental foram utilizados 40 cm. Foi utilizada esta medida pois era uma distância pré-definida e a mais adequada a este tipo de testes, por serem testes de visão ao perto.

5.1.2 Resultados relativos aos testes clínicos de visão das cores

Indivíduos Daltónicos

Nome: RD

Idade: 19 anos

Data: 26/03/2012

Ishihara's Tests

Observação		Diagnóstico	
OD	OE	Normal	Defeito eixo RG
	AO		
Pontuação		4/20	10/20
Placas diagnóstico		2/4	2/4 (deutan)

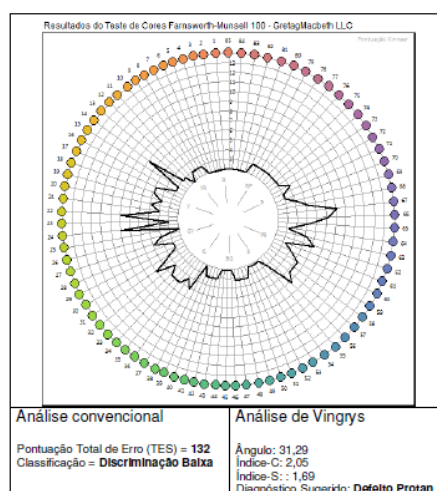
Diagnóstico sugerido: Defeito no eixo vermelho-verde. Possível Tricromata anómalo do tipo Deutan

City University Colour Vision Test

Observação		Diagnóstico			
OD	OE	Normal	Protan	Deutan	Tritan
	AO				
Pontuação		4/6 3/4	2/6 1/4	—/6 —/4	—/6 —/4
		7/10	9/10	—/10	—/10

Diagnóstico sugerido: Possível Tricromata anómalo do tipo Protan

FM-100



Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

Nome: FC

Idade: 24 anos

Data: 27/03/2012

Ishihara's Tests

Observação		Diagnóstico	
OD	OE: AO	Normal	Defeito eixo RG
Pontuação		3 /20	16 /20
Placas diagnóstico		4 /4	---

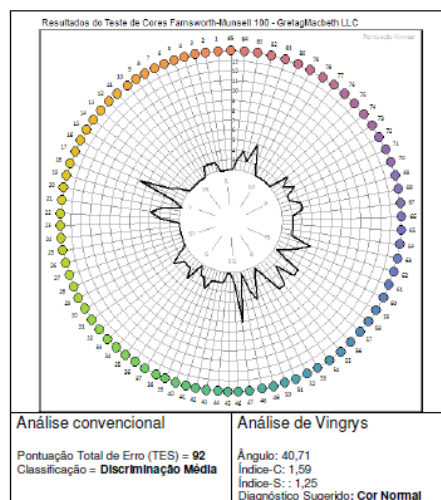
Diagnóstico sugerido: Defeito no eixo vermelho verde.

City University Coulor Vision Test

Observação		Diagnóstico			
OD	OE: AO	Normal	Protan	Deutan	Tritan
Pontuação		5 /6 3 /4 8 /10	---/6 ---/4 ---/10	1 /6 1 /4 2 /10	---/6 ---/4 ---/10

Diagnóstico sugerido: Possível tricomata anômalo do tipo Deutan

FM-100



Nome: MB

Idade: 31 anos

Data: 26/03/2012

Ishihara's Tests

Observação		Diagnóstico	
OD	OE: AO	Normal	Defeito eixo RG
Pontuação		3 /20	16 /20
Placas diagnóstico		---	4 /4 (deutan)

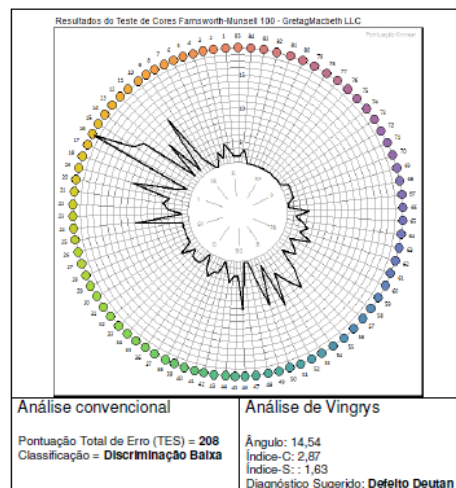
Diagnóstico sugerido: Defeito no eixo vermelho verde. Tricomata anômalo do tipo Deutan

City University Coulor Vision Test

Observação		Diagnóstico			
OD	OE: AO	Normal	Protan	Deutan	Tritan
Pontuação		---/6 ---/4 ---/10	2 /6 ---/4 2 /10	4 /6 4 /4 8 /10	---/6 ---/4 ---/10

Diagnóstico sugerido: Tricomata anômalo do tipo Deutan

FM-100



Nome: JM

Idade: 9 anos

Data: 8/11/2012

Ishihara's Tests

Observação	Diagnóstico	
OD OE AO	Normal	Defeito eixo RG
Pontuação	0/20	2/20
Placas diagnóstico	---	0/4 (deutan)

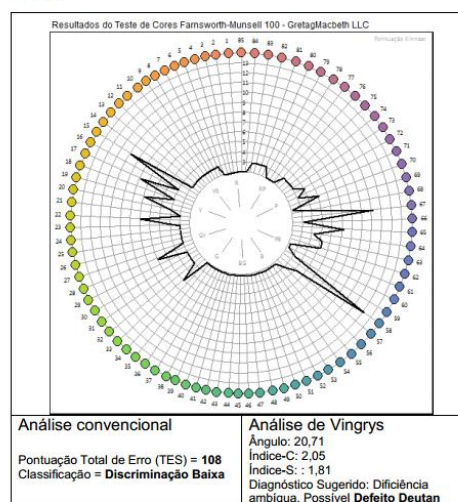
Diagnóstico sugerido: Resultado inconclusivo. Este teste só tem sensibilidade para defeitos no eixo RG. Pode existir um defeito no eixo YB.

City University Coulour Vision Test

Observação	Diagnóstico			
OD OE AO	Normal	Protan	Deutan	Tritan
Pontuação	4/6 3/4 7/10	2/6 1/4 3/10	—/6 —/4 —/10	—/6 —/4 —/10

Diagnóstico sugerido: Cor Normal. Possível defeito Protan

FM-100



Resultados ambíguos e contraditórios. Nota: o teste FM100 não está estandardizado para crianças.

5.2 Exames electroencefalográficos

Na realização desta etapa do trabalho experimental foram utilizados 8 cartões coloridos com as cores preto, ciano, vermelho, amarelo, castanho, rosa, verde e laranja. A escolha da cor preta deveu-se ao facto de constituir uma cor neutra, ou seja, absorve todos os raios luminosos não reflectindo nenhum [77]. As cores vermelho e verde foram utilizadas por serem duas cores primárias aditivas [78]. O ciano, o amarelo e o rosa (que se aproximava bastante do magenta) foram selecionados por serem as três cores primárias subtractivas [79]. E por fim o castanho e o laranja, porque face às características apresentadas pelo universo de indivíduos daltónicos, estas representavam duas das cores de mais difícil identificação comum a todos. De seguida enunciar-se-ão os materiais e métodos utilizados durante esta fase, sendo os resultados apresentados posteriormente no anexo II.

Material necessário:

- Equipamento de registo das ondas cerebrais (PowerLab/4st, ADInstruments)
- 3 Eléctrodos
- Electrogel
- Fita elástica
- Tampões auditivos
- Software de aquisição, armazenamento e análise de dados
- 8 Cartões coloridos (preto, ciano, vermelho, amarelo, castanho, rosa, verde e laranja)

Recomendações:

É recomendável que os pacientes estejam relaxados, não apresentando sinais de stress (por exemplo, condicionamento de horário).

Devem estar com a vista descansada, tendo o teste de ser executado, preferencialmente num dia em que a visão não tenha sido muito forçada (por exemplo, várias horas a ler, ao computador, a assistir televisão exaustivamente), é preferível por isso realizar o teste de manhã.

É preferível que os voluntários não tenham ingerido álcool, cafeína ou quaisquer outras bebidas energizantes pelo menos até oito horas antes de realizar o exame.

É necessário que durmam na noite anterior pelo menos seis horas e é-lhes solicitado que tenham lavado a cabeça nessa mesma noite, proibindo-se a utilização de adereços, gel, laca, cera ou qualquer produto capilar do mesmo género.

Por último, para maior comodidade devem vestir roupa e calçado leve e confortável.

Procedimento:

O paciente encontrar-se-á sentado, relaxado e com a cabeça livre de adornos. De seguida são-lhe cuidadosamente colocados três eléctrodos de forma a iniciar o exame (Fig. 26).

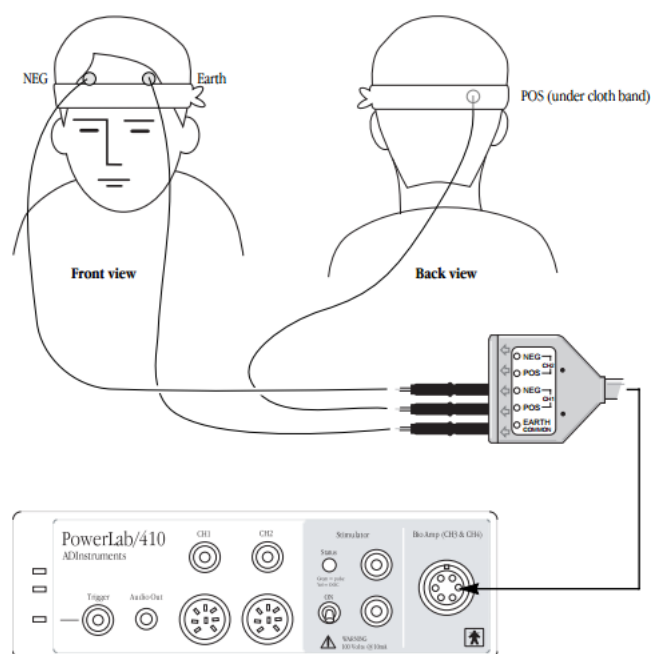


Figura 26 - Esquema representativo do posicionamento correcto dos eléctrodos no paciente [80].

Para que a colocação dos eléctrodos seja o mais eficiente possível há necessidade de afastar ao máximo o cabelo da zona de contacto do eléctrodo com o couro cabeludo, para isso existe a possibilidade de colocação de uma bandolete de algodão nos indivíduos nos quais se verificar necessário. Além desta de carácter facultativo, foi ainda aplicada uma fita elástica ajustável a qualquer perímetro encefálico, de modo a evitar possíveis deslocções dos eléctrodos, permitindo ao mesmo tempo um bom contacto dos eléctrodos com a pele do indivíduo.

A sala encontrar-se-á com luz reduzida e com todos os ruídos possíveis minimizados, para facilitar a abstração do barulho são colocados tampões nos ouvidos dos indivíduos.

Estará com o olhar direccionado para cartões coloridos (30x20cm) que se encontram a aproximadamente 40cm e que estão iluminados com luz branca. Cada estímulo demorará 2 minutos, existindo posteriormente um tempo de latência de 1 minuto, no qual se encontrará de olhos fechados. Cada tentativa será iniciada e encerrada através de um toque leve no ombro. Tendo em conta a teoria que demonstra que não se verifica diferença entre medidas mono- e binoculares, os testes foram realizados binocularmente [81].

O exame decorrerá aproximadamente de 30 a 40 minutos, incluindo o tempo de colocação e remoção dos eléctrodos.

O exame é indolor e não apresenta quaisquer efeitos secundários, permitindo ao paciente o retorno ao quotidiano imediatamente após a realização do exame [43].

Seguidamente pode observar-se uma imagem real do ensaio realizado (Fig.27).



Figura 27- Representação da situação real de execução de um ensaio do teste de electroencefalografia.

5.2.1 Metodologia de aquisição

Este trabalho foi realizado recorrendo ao equipamento PowerLab/4st propriedade da ADInstruments. O equipamento encontrava-se ligado por USB a um computador onde tinha sido previamente instalado o software que permitia a correcta utilização do mesmo, isto é, era aí realizada a aquisição, armazenamento e posterior análise dos dados. Para além desta ligação, no PowerLab foi ainda necessário conectar-se o cabo de Bio Amp que continha três derivações (Fig. 26). Este cabo permitia a amplificação do sinal cerebral através de amplificadores diferenciais, facilitando deste modo a visualização das diferenças de potencial registadas entre dois pontos a tensões distintas. A análise dos dados era exequível após a conversão do sinal analógico em digital, permitindo a formação de um gráfico no computador. A utilização deste cabo é de extrema importância tendo em conta que os sinais cerebrais apresentam tensões variáveis na ordem dos 50 mV pico-a-pico e se o sinal não fosse amplificado, a sua visualização e análise tornar-se-ia impossível. Desta forma, para a aquisição dos sinais cerebrais mostrou-se necessária a conexão dos três eléctrodos de registo de electroencefalografia ao cabo de Bio Amp, já que este é responsável pelo interface entre o equipamento de aquisição, visualização e armazenamento e o substracto a testar, as ondas cerebrais dos indivíduos. Os três eléctrodos utilizados tinham o papel de Terra, CH1 negativo (canal 1) e CH1 positivo (canal 1) [80]. Antes da colocação dos eléctrodos na cabeça do paciente, é-lhes aplicado na zona côncava o electrogel de forma a reduzir o possível aparecimento de artefactos no gráfico. Após este processo inicia-se a colocação dos mesmos sobre a cabeça do voluntário da seguinte forma: o eléctrodo CH1 negativo e o eléctrodo Terra são colocados frontalmente na testa, o eléctrodo CH1 positivo é disposto na zona traseira da cabeça, ou seja occipitalmente sobre o couro cabeludo. De uma forma mais precisa, o exacto local de disposição dos eléctrodos frontais será abaixo aproximadamente da linha capilar (ou possível linha no caso de calvície do paciente) deslocado cerca 5cm para a direita ou esquerda da linha média (que corresponde aproximadamente a uma linha imaginária formada verticalmente no centro no olho), no caso de se tratar do eléctrodo CH1 negativo ou do eléctrodo Terra, respectivamente. Este último apresenta um papel importante em todo o processo, pois permite que as interferências eléctricas sejam reduzidas. O eléctrodo CH1 positivo situa-se na zona occipital da cabeça do indivíduo formando uma linha paralela e outra perpendicular com o eléctrodo Terra.

Assim que os eléctrodos são colocados e que todo o procedimento experimental é seguido, questiona-se o indivíduo se se encontra nas condições necessárias à realização do exame e se a resposta for positiva pode dar-se início ao mesmo. O software é configurado de acordo com as instruções verificadas no manual, permitindo desta forma que os resultados sejam transmitidos do canal 3 para o computador (Fig. 28) [80].

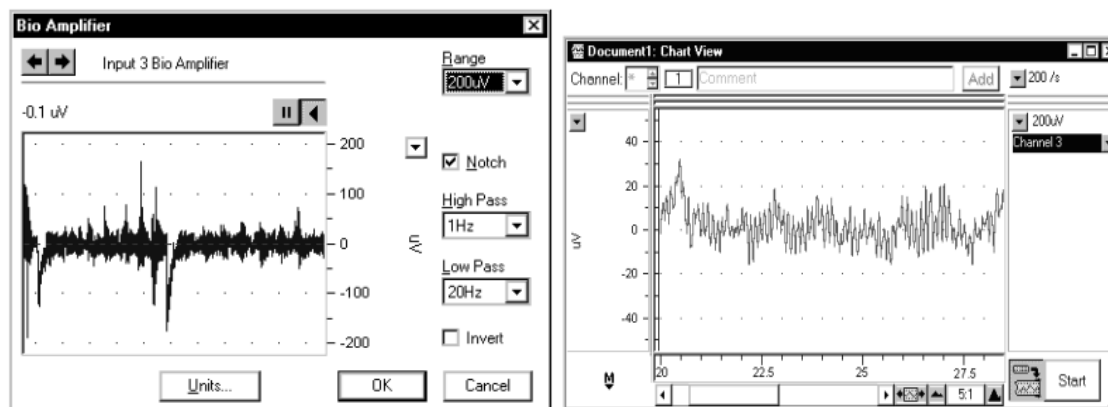


Figura 28 - Representação gráfica das configurações do Bio Amplifier para o EEG (à esquerda) e das ondas alfa no software (à direita) [80].

5.2.2 Metodologia de análise

Os dados adquiridos foram analisados através da utilização de transformadas de Fourier, mais propriamente de Fast Fourier Transforms (FFT). As transformadas começaram a ser utilizadas a partir do século XVII pelo matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) que demonstrou que qualquer forma de onda pode ser representada por um somatório de sinusóides e cossenóides de diferentes frequências, amplitudes e desfasagens. Basicamente, a Transformada de Fourier decompõe um sinal mais complexo nas suas componentes elementares - seno e cosseno e opera no domínio das frequências que compõem a imagem.

A transformada de Fourier pode ser aplicada em diversas áreas do quotidiano como a física, o processamento de sinal e imagem, a estatística, a óptica, entre outras. Mas, dependendo da área que se está a considerar podem ser usados dois tipos de transformadas distintos, a Transformada de Fourier para funções contínuas e a Transformada de Fourier para funções discretas [82]. A FFT é um método de resolução da Transformada Discreta de Fourier, especialmente adaptada ao cálculo computacional, e de grande aplicação no processamento digital de sinais [83]. Abaixo será apresentada a fórmula genérica correspondente à FFT (2).

$$Fn = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-i2\pi n \frac{k}{N}} = \sum_{k=0}^{N-1} f_k W^{kn}, n = 0, \dots, N-1 \quad (2)$$

Onde,

f, frequência

k, número da função sinusoidal

N, número total de funções que compõem o sinal

n, é um inteiro que representa o domínio do tempo discreto, ou seja o número de amostras do sinal

W, frequência angular.

6. Resultados

Neste capítulo do trabalho podem encontrar-se os resultados respeitantes à última etapa do mesmo, os exames de electroencefalografia. As frequências e amplitudes apresentadas foram extraídas dos gráficos referentes à funcionalidade *Spectrum* encontrada no software do equipamento utilizado (PowerLab/4st). Estes valores correspondiam ao valor máximo apresentado por cada indivíduo aquando do visionamento de cada uma das diferentes cores e podem ser constatados através das imagens recolhidas no exame e exibidas no anexo II. Relativamente às siglas de identificação dos indivíduos, tem-se que FC, MB, RD e JM correspondiam a daltónicos e as restantes, ou seja, HS, LR, ND e PG pertenciam aos que tinham visão cromática normal.

Tabela 2 - Registo da frequência (Hz) da onda Alfa registada nas diferentes cores relativa aos indivíduos que realizaram o exame. As siglas a azul correspondem a indivíduos daltónicos e as representadas a verde pertencem a indivíduos normais.

Frequência (Hz)								
Indivíduos Cores	FC (Deutan)	MB (Deutan)	RD (Protan)	JM (Tritan)	HS	LR	ND	PG
Preto	0,391	0,977	8,984	0,781	0,391	4,102	1,953	2,539
Ciano	0,781	1,367	9,18	0,977	3,711	1,953	0,391	1,953
Vermelho	4,297	1,367	8,203	0,781	0,195	1,953	0,195	0,195
Amarelo	2,148	3,906	1,172	0,977	1,953	3,906	0,195	0,391
Castanho	0,391	1,758	0,586	0,977	1,953	1,953	0,195	0,391
Rosa	0,391	3,32	8,008	1,172	1,953	1,953	1,172	2,344
Verde	0,586	0,195	8,398	4,883	1,367	4,102	0,391	0,195
Laranja	0,781	0,586	8,203	1,758	0,391	5,469	0,195	1,172

Representação gráfica da frequência (Hz) relativa à amostra de indivíduos daltónicos

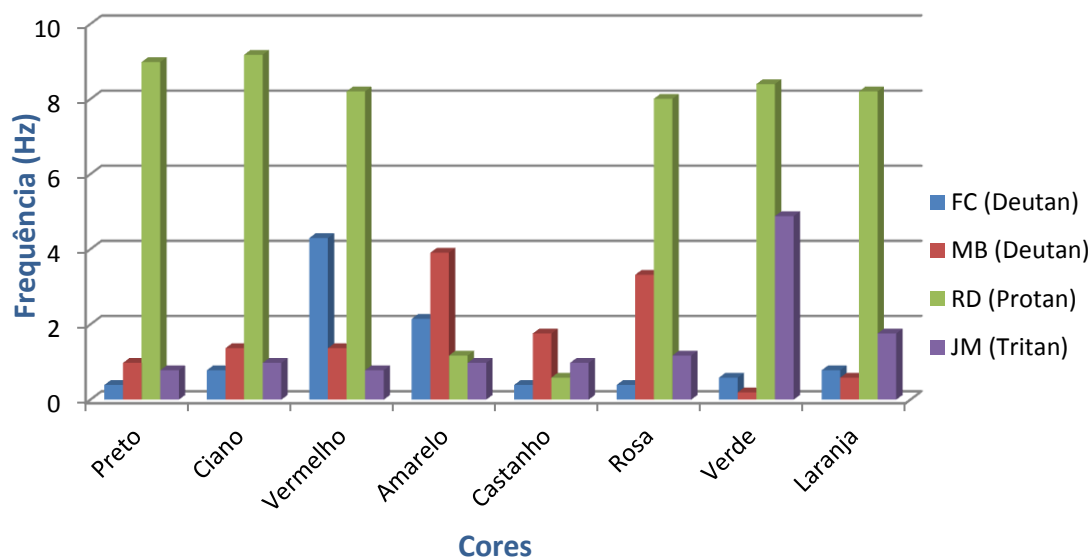


Figura 29 - Gráfico representativo do registo da frequência (Hz) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos daltónicos.

Representação gráfica da frequência (Hz) relativa à amostra de indivíduos normais

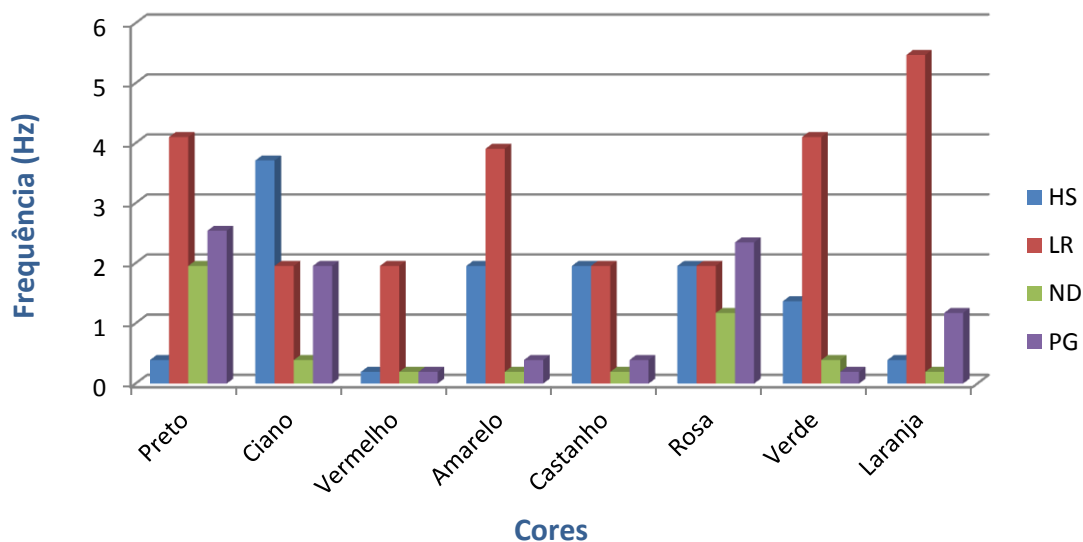


Figura 30 - Gráfico representativo do registo da frequência (Hz) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos normais.

Tabela 3 - Registo da amplitude (μV) da onda Alfa registada nas diferentes cores relativa aos indivíduos que realizaram o exame. As siglas a azul correspondem a indivíduos daltónicos e as representadas a verde pertencem a indivíduos normais.

Indivíduos Cores	Amplitude (μV)							
	FC (Deutan)	MB (Deutan)	RD (Protan)	JM (Tritan)	HS	LR	ND	PG
Preto	1,43E-11	4,84E-11	1,02E-11	2,85E-11	3,71E-11	5,77E-10	1,22E-10	4,42E-12
Ciano	1,71E-12	2,71E-11	7,66E-12	1,35E-11	1,15E-11	4,49E-10	2,11E-11	6,07E-12
Vermelho	4,02E-12	3,00E-11	1,22E-11	1,47E-11	9,82E-12	3,62E-10	1,86E-11	8,94E-12
Amarelo	1,60E-11	2,16E-11	6,26E-12	1,35E-11	5,04E-11	5,86E-10	6,41E-11	1,79E-11
Castanho	2,65E-11	2,56E-11	5,94E-12	1,64E-11	1,82E-10	3,93E-10	8,85E-11	1,00E-11
Rosa	3,54E-12	1,16E-11	1,16E-11	6,53E-12	1,78E-10	6,32E-10	1,95E-11	3,84E-12
Verde	5,92E-12	8,08E-12	1,86E-11	7,47E-12	6,11E-11	1,15E-09	3,69E-11	1,37E-11
Laranja	7,31E-12	4,32E-11	7,10E-12	1,55E-11	3,32E-11	5,64E-10	7,86E-11	1,79E-11

Representação gráfica da amplitude (μV) relativa à amostra de indivíduos daltónicos

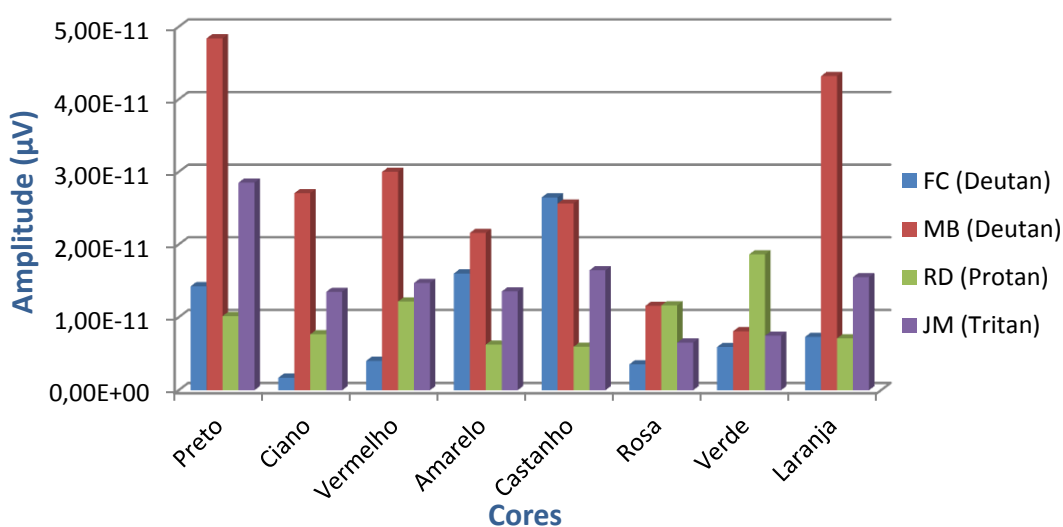


Figura 31 - Gráfico representativo do registo da amplitude (μV) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos daltónicos.

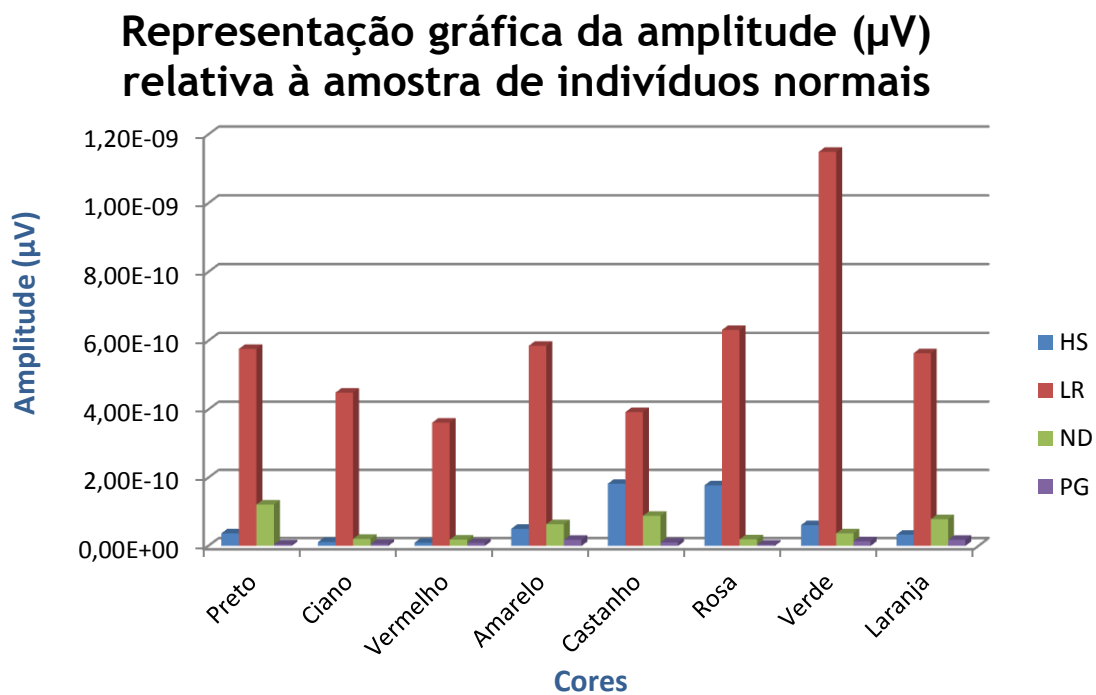


Figura 32 - Gráfico representativo do registo da amplitude (μV) da onda Alfa relativamente à amostra de indivíduos normais.

7. Discussão/Conclusão

De acordo com os resultados obtidos na parte experimental do trabalho, podem observar-se algumas diferenças entre os indivíduos normais e os daltónicos aquando da visualização das cores. Estas discrepâncias tornam-se mais evidentes quando se analisa a amplitude, contudo podem também ser observadas relativamente à frequência. Analisando cada caso com mais pormenor, é importante ter em conta que os indivíduos apresentavam tipos de daltonismo diferentes entre eles. Relativamente ao RD verificou-se que apresentava deficiência do tipo protan, já que, tendo em conta os seus testes de visão das cores, FM 100 Hue e The City University Colour Vision Test é esse o resultado. O teste das placas pseudo-isocromáticas de Ishihara revelou-se discrepante dos dois anteriores, mas tendo em conta que é um teste que avalia os defeitos no eixo vermelho-verde e a deficiência deutan é também nesse eixo, não se poderia chegar a uma conclusão concisa apenas pela análise do teste referido. Daí, tornar-se tão importante a execução dos três testes para que pudesse haver alguma congruência, assim observou-se que poderia ser um defeito no eixo vermelho-verde e através dos outros dois testes pôde chegar-se a uma conclusão acerca da referida deficiência.

Os indivíduos MB e FC manifestavam deficiência do tipo deutan. Esta deficiência, pôde ser constatada através da realização dos mesmos testes, que se revelaram absolutamente coerentes para MB. No caso de FC, o teste das placas pseudo-isocromáticas de Ishihara revelou defeito na cor verde, sendo esta hipótese alimentada pelo The City University Colour Vision Test. Em relação a JM, os testes de visão das cores principalmente o FM 100 Hue, revelaram-se ambíguos. Relativamente ao último, supõe-se que tenha dado esse resultado devido à sua não estandardização para crianças, visto o indivíduo apresentar apenas 9 anos de idade. Pois, para a realização deste tipo de testes prevê-se que haja da parte do indivíduo alguma maturidade cerebral, que começa a ser mais evidente apenas a partir da adolescência. Mas, através do discurso e das vivências da criança pode arriscar-se um defeito tritan, já que as cores que não lhe são perceptíveis são as do eixo azul-amarelo, resultando num reconhecimento deficiente ou mesmo nulo destas cores.

Chegou-se à conclusão deste diagnóstico através da conclusão da primeira etapa do trabalho, que correspondia ao diagnóstico e análise da visão cromática. Estes testes foram realizados de acordo com condições ditas ideais, ou seja, num local adequado para o efeito, com ambiente calmo e poucas ou mesmo nenhuma distrações extrínsecas à execução do teste. A iluminação estava de acordo com o requisito dos fabricantes de cada teste e todos os testes foram realizados no início da manhã, permitindo que a amostra não apresentasse fadiga visual. Devido à conjugação de todos estes factores pode concluir-se que esta etapa foi concluída com êxito e que os resultados apresentados são fiáveis.

Quanto à segunda parte do trabalho que consistia na realização de electroencefalograma não se pode dizer que as condições fossem assim tão ideais, levando por isso a resultados pouco fiáveis. A falta de fiabilidade começa por um dos factores que apresentava extrema importância, o equipamento de electroencefalografia utilizado. Por questões de disponibilidade e permissão de utilização do equipamento teve de ser utilizado um bastante rudimentar para o efeito, já que apresentava apenas 3 eléctrodos para aquisição dos dados ao contrário do que seria ideal, a touca de eléctrodos dispostos pelo sistema convencional 10-20. Para além do equipamento não ser muito preciso, as ferramentas disponíveis para a aquisição dos dados apresentavam alguns danos físicos. No que refere à colocação dos eléctrodos, todas as precauções possíveis para o bom funcionamento dos mesmos foram tomadas, desde a correcta limpeza após utilização, ao correcto armazenamento. Contudo, apesar de todos os cuidados na colocação dos eléctrodos, como o seu sistema de fixação não era o mais indicado, já que ficavam seguros apenas pela fita elástica, no decorrer do exame podem ter acontecido movimentações dos mesmos, o que provocaria obviamente artefactos e adulteração dos dados. Para além disso, há que ter em conta também que os artefactos podem surgir não só a partir de factores extrínsecos, que podem ser minimamente controláveis, bem como por factores intrínsecos que não o são de todo. E, pertencentes ao último grupo encontram-se dois que são de especial relevo, a actividade electromiografica (EMG) dos músculos da face e/ou couro cabeludo e o potencial decorrente da rotação dos olhos.

Sendo assim, a questão sobre a escolha do método de aquisição dos sinais das ondas cerebrais impõem-se. Pois bem, esta escolha recaiu sobre este método devido à disponibilidade de utilização do mesmo, facilidade no manuseamento e portabilidade. Para além disso este conseguia adquirir apenas as ondas Alfa (α) apesar de haver equipamentos muito mais sofisticados, que não tinham possibilidade de utilização. Para estudar as possíveis alterações entre os dois grupos da amostra, teria também sido importante a aquisição das ondas Teta (θ), já que estas se encontram envolvidas na monitorização do comportamento, avaliação dos resultados de resposta entre outros aspectos das funções cognitivas. As oscilações destas ondas estão ainda relacionadas com funções em processos envolvidos com a memória e o desempenho cognitivo, entre outros. Os métodos invasivos ficaram fora de hipótese porque o corrente trabalho era apenas um estudo, não se tratava de uma história clínica grave que necessitasse urgentemente desses procedimentos, já que acarretam algumas desvantagens para o doente, nomeadamente risco de infecções. Os outros métodos não-invasivos enunciados (RM, PET e MEG) apresentam um custo de utilização muito elevado, e por se tratarem de exames muito específicos a sua ocupação é praticamente de 100%. Para além de se encontrarem fixos no hospital, não apresentam portabilidade e requerem a utilização única e exclusivamente por técnicos especializados.

É de relevar também todo o ambiente no qual os exames foram executados, como citado acima, os testes de detecção da visão das cores foram realizados em condições próximas com

as ideais, visto terem sido realizados no Laboratório de Optometria. Assim, a luminosidade da sala estava adaptada para o efeito, o ambiente era silencioso e a visão do indivíduo estava principalmente direccionada para o exame, e cito principalmente porque através da visão periférica havia acesso a outro campo de visão que não o do teste, que não era obviamente controlável. Quanto à execução do exame de eletroencefalografia, as condições possíveis não eram de todo as ideais, já que o mesmo foi realizado no Laboratório de Electrotecnia. O local não estava bem preparado para receber um exame deste género, mas foi o único sítio disponível para a sua realização. Para além disso era utilizado por várias pessoas, que devido às suas necessidades de trabalho, tinham por vezes de entrar e sair da sala, conversando na mesma sobre o referido. Sendo assim, o observador não estava em condições de pleno silêncio e concentração, apresentando a sala diversas distrações no campo visual periférico do utilizador. A iluminação também não era a adequada, havendo por vezes momentos de média luz e de luz mais intensa devido à necessidade dos outros utilizadores da sala. E, como os principais aspectos que influenciam a visualização e posterior percepção das cores são a fonte de luz, o objecto e o observador e estes três factores essenciais não se encontravam no seu ideal, pode afirmar-se que os resultados podem ter sofrido alterações.

Assim, tendo em conta todos estes factores, irá seguidamente analisar-se cada caso com mais atenção. Relativamente aos gráficos comparativos da frequência pode constatar-se que de uma maneira geral, os indivíduos normais têm frequências mais baixas que os indivíduos daltónicos. Observando o comportamento de RD, é com clareza que se observa que é o que exhibe frequências mais elevadas em quase todas as cores (excepto amarelo e castanho). Talvez esta constatação se deva por apresentar um tipo de daltonismo diferente de todos os outros, manifesta deficiência do tipo protan. Os indivíduos MB e FC apresentam em relativamente todas as cores (excepto no vermelho, amarelo, castanho e rosa), frequências muito semelhantes. Este caso pode dever-se ao facto de ambos apresentarem o mesmo tipo de deficiência - deutan. Nas cores em que são discordantes, essa divergência é bastante evidente, possivelmente devido a alterações verificadas ao nível do teste físico. As deficiências deutan e protan verificam-se no eixo vermelho-verde, tendo a diferença de que os primeiros têm dificuldade no vermelho, ao passo que os segundos têm problemas com a cor verde, apresentando-se-lhe ambas como cores bem mais escuras do que aquilo que são na realidade. No caso de JM e assumindo-se como sendo portador de deficiência tritan as deficiências registam-se ao nível do eixo amarelo-azul, sendo as cores pertencentes a este eixo percebidas deficientemente ou não entendidas de todo.

O indivíduo LR apresenta frequências bem mais elevadas do que os restantes. Esta constatação pode dever-se ao facto de ser uma criança (9 anos) que apresentava no momento alguns distúrbios de atenção e concentração, bastante nervosismo e alienação ao ambiente e ao objecto que se pretendia que focasse naquele momento. No que diz respeito ao gráfico referente aos indivíduos normais, as frequências entre eles não são muito discrepantes e

quando isto se verifica pode ser resultado das diferenças etárias, já que os indivíduos que apresentam frequências mais próximas são aqueles que também têm mais proximidade de idades.

Relativamente ao gráfico pertencente ao registo da amplitude de indivíduos normais, pode observar-se que todos eles apresentam amplitudes baixas durante a visualização de todas as cores, à excepção do indivíduo LR. Isto acontece possivelmente devido aos factores já enunciados acima e presume-se portanto, que seja devido a estes factores que apresenta resultados tão diferentes dos outros indivíduos. Mais uma vez, no que refere aos indivíduos normais, as amplitudes apresentam-se tão próximas quanto as suas idades, tornando-se a idade um factor determinante neste tipo de testes.

Consegue-se ainda constatar que por comparação dos dois gráficos, é possível observar que os indivíduos daltónicos apresentam amplitudes claramente bem mais inferiores do que os normais.

Os gráficos apresentados em anexo relativos ao exame electroencefalográfico foram recolhidos após 30 segundos do início de cada estímulo diferente, isto é, a cada nova cor apresentada, considerava-se o gráfico obtido após 30 segundos de visualização. Foi pré-definido este intervalo de tempo por se constatar que o indivíduo necessitava de tempo para estabilizar as ondas cerebrais, tomando percepção de que estava a receber um novo estímulo.

Um factor determinante para que as conclusões do trabalho não possam ser tão convergentes como o esperado é o facto de a amostra possuir bastante discrepância nas idades. Os indivíduos analisados apresentavam uma escala etária bastante alargada, já que apresentavam idades compreendidas entre os 9 e os 31 anos. A inclusão de crianças na análise pode alterar bastante os resultados, devido ao facto de não apresentarem a mesma capacidade de concentração e abstracção de um adulto. Para além disso, o seu cérebro não se encontra ainda num estado de desenvolvimento considerado estável.

Todas as conclusões tiradas são apenas uma suposição, pois esta área ainda não está suficientemente desenvolvida, e de acordo com a pesquisa bibliográfica efectuada, não existem ainda trabalhos direccionados para este campo da medicina, sendo por isso impossível a realização de prognósticos e/ou afirmações concretas e fiáveis.

Contudo, e como conclusão final dever-se-á referir que o estudo e os testes levados a cabo indiciam uma possibilidade de estudo do comportamento das ondas cerebrais como resultado do estímulo cromático, evidenciando-se padrões distintos de frequência e amplitude, que em condições ideais de testes com EEG, e utilizando equipamentos com maior fiabilidade e precisão, poderão aprofundar a investigação em torno da neurofisiologia humana no que diz respeito à visão, e nomeadamente à identificação das respostas visuais em caso de daltonismo, nas suas diversas manifestações.

Referências

- [1] D. e. a. Purves, *Neuroscience*, 3 ed. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 2004.
- [2] R. R. e. a. Seeley, *Anatomy and Physiology*, 6rd ed.: McGraw Hill Publishers, 2007.
- [3] A. H. B. Ropper, R. H. , *Adams and Victor's Principles of Neurology*, 8 ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2005.
- [4] J. Nolte, *The Human Brain: An Introduction to its Functional Anatomy*, 40 ed.: Mosby, 2008.
- [5] D. E. e. a. Haines, *Fundamental Neuroscience for basic and clinical applications*, 3 ed.: Elsevier, 2007.
- [6] A. e. a. Despopoulos, *Color Atlas of Physiology*, 5 ed.: Thieme, 2003.
- [7] M. V. P. F. Bartolomé, V. L. ; Ajamil, C. E., *Neuropsicologia: Libro de Trabajo, Capítulo 3*, 2 ed. Salamanca: Amarú Ediciones, 2001.
- [8] A. a. L. Stevens, J., *Human Histology*, 2 ed.: Mosby, 1999.
- [9] A. C. e. a. Guyton, *Textbook of Medical Physiology*, 11 ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2006.
- [10] S. C. Sanei, J. A., *EEG Signal Processing*, 1 ed. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [11] H. E. A. Bicas, *Oftalmologia: Fundamentos*. São Paulo: Contexto, 1991.
- [12] W. W. D. Campbell, *The Neurologic Examination*, 6 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
- [13] R. R. e. a. Seeley, *Anatomy and Physiology*, 6rd ed.: McGraw Hill Higher Education, 2003.
- [14] W. D. Wright, "The Response of the Eye to Light in Relation to the Measurement of Subjective Brightness and Contrast," *Br J Ophthalmol*, vol. 24, pp. 1-21, Jan 1940.
- [15] G. K. Lang, *Ophthalmology*, 2 ed., 2006.
- [16] w. d. p.-D. G. d. Saúde. Acessado dia 20-06-2012). *Boas Práticas em Oftalmologia 2008 - Elementos Clínicos de Avaliação e Referênciação. Noções de Anatomia e Fisiologia Ocular*, pág. 50.

- [17] E. N. Marieb, *Human Anatomy & Physiology*, 7 ed.: Benjamin-Cummings Publishing Company, 2007.
- [18] J. a. C. Olver, L. , *Ophthalmology at a Glance*, 1 ed. Massachusetts: Blackwell Science Ltd, 2005.
- [19] J. I. Korenbrot, "Speed, sensitivity, and stability of the light response in rod and cone photoreceptors: Facts and models," *Prog Retin Eye Res*, May 29 2012.
- [20] K. W. Yau, "Phototransduction mechanism in retinal rods and cones. The Friedenwald Lecture," *Invest Ophthalmol Vis Sci*, vol. 35, pp. 9-32, Jan 1994.
- [21] Y. Fu, "Phototransduction in Rods and Cones," 1995.
- [22] R. S. Molday, "Photoreceptor membrane proteins, phototransduction, and retinal degenerative diseases. The Friedenwald Lecture," *Invest Ophthalmol Vis Sci*, vol. 39, pp. 2491-513, Dec 1998.
- [23] N. R. Carlson, *Physiology of Behavior*, 9 ed. Massachusetts: Allyn and Bacon, 2007.
- [24] B. R. Conway, *et al.*, "Advances in color science: from retina to behavior," *J Neurosci*, vol. 30, pp. 14955-63, Nov 10 2010.
- [25] C. Vakrou, *et al.*, "Functional evidence for cone-specific connectivity in the human retina," *J Physiol*, vol. 566, pp. 93-102, Jul 1 2005.
- [26] M. Neitz and J. Neitz, "Molecular genetics of color vision and color vision defects," *Arch Ophthalmol*, vol. 118, pp. 691-700, May 2000.
- [27] J. K. Bowmaker, *et al.*, "Photosensitive and photostable pigments in the retinae of Old World monkeys," *J Exp Biol*, vol. 156, pp. 1-19, Mar 1991.
- [28] L. F. Bruni and A. A. Cruz, "[Chromatic sense: types of defects and clinical evaluation tests]," *Arq Bras Oftalmol*, vol. 69, pp. 766-75, Sep-Oct 2006.
- [29] G. P., *Principles of neurologic science*. New York: Elsevier, 1985.
- [30] M. G. e. a. Lima, "Métodos utilizados na avaliação psicofísica da visão de cores humana," 2011.
- [31] S. L. Silbernagl, Florian, *Color Atlas of Pathophysiology*. Stuttgart: Thieme, 2000.
- [32] R. E. T. I. Passingham, "Contrasting the Dorsal and Ventral Visual Systems: Guidance of Movement versus Decision Making," *NeuroImage*, vol. 14, pp. S125-S131, 2001.

- [33] Y. D. Keravel, M; Louarn, F., *Vues Anatomiques Commentés Des Voies Visuelles. Encycl. Med.* Paris: Chir. Paris, 1991.
- [34] A. B. e. a. Sereno, "Shape selectivity in primate lateral intraparietal cortex," *Nature*, vol. 395, pp. 500-503, 1998.
- [35] M. A. Goodale and A. M. Haffenden, "Interactions between the dorsal and ventral streams of visual processing," *Adv Neurol*, vol. 93, pp. 249-67, 2003.
- [36] E. R. S. Kandel, J.H. ; Jessell, T.M., *Princípios da Neurociência*. Barueri: Manole, 2003.
- [37] N. A. d. e. a. Santos, "Percepção e Processamento Visual da Forma: Discutindo Modelos Teóricos Atuais," *Psicologia: Reflexão e Crítica*, pp. 157-166, 2001.
- [38] R. N. DeJong, *The Neurologic Examination*, 4 ed. Maryland: Harper & Row, 1979.
- [39] C. R. F. Schirmer, Denise; Nunes, Magda L. (2004) Distúrbios da aquisição da linguagem e da aprendizagem. *Jornal de Pediatria*.
- [40] R. Farivar, *et al.*, "Dorsal-ventral integration in the recognition of motion-defined unfamiliar faces," *J Neurosci*, vol. 29, pp. 5336-42, Apr 22 2009.
- [41] M. A. Goodale and A. D. Milner, "Separate visual pathways for perception and action," *Trends Neurosci*, vol. 15, pp. 20-5, Jan 1992.
- [42] A. e. a. Ishai, "Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway," *Neurobiology*, vol. 96, 1999.
- [43] M. e. a. Mumenthaler, *Fundamentals of Neurology*: Thieme, 2006.
- [44] W. H. Swanson and J. M. Cohen, "Color vision," *Ophthalmol Clin North Am*, vol. 16, pp. 179-203, Jun 2003.
- [45] F. Greenaway, "John Dalton," *Endeavour*, vol. 25, pp. 73-8, May 1966.
- [46] M. D. Fairchild, "Color appearance models and complex visual stimuli," *J Dent*, vol. 38 Suppl 2, pp. e25-33, 2010.
- [47] J. K. Bowmaker, "Visual Pigments and Molecular Genetics of Color Blindness," *News Physiol Sci*, vol. 13, pp. 63-69, Apr 1998.
- [48] M. T. Ross, *et al.*, "The DNA sequence of the human X chromosome," *Nature*, vol. 434, pp. 325-37, Mar 17 2005.
- [49] S. H. Schwartz, *Visual Perception - a clinical orientation*, 3 ed.: Hightstown: McGraw Hill, 2004.

- [50] J. Nathans, "The evolution and physiology of human color vision: insights from molecular genetic studies of visual pigments," *Neuron*, vol. 24, pp. 299-312, Oct 1999.
- [51] J. Nathans, *et al.*, "Molecular genetics of human visual pigments," *Annu Rev Genet*, vol. 26, pp. 403-24, 1992.
- [52] R. C. Baraas, *et al.*, "Color constancy of red-green dichromats and anomalous trichromats," *Invest Ophthalmol Vis Sci*, vol. 51, pp. 2286-93, Apr 2010.
- [53] S. K. Shevell and J. C. He, "The visual photopigments of simple deuteranomalous trichromats inferred from color matching," *Vision Res*, vol. 37, pp. 1115-27, May 1997.
- [54] J. Nathans, *et al.*, "Molecular genetics of human color vision: the genes encoding blue, green, and red pigments," *Science*, vol. 232, pp. 193-202, Apr 11 1986.
- [55] T. Yamaguchi, *et al.*, "Visual pigment gene structure and expression in human retinae," *Hum Mol Genet*, vol. 6, pp. 981-90, Jul 1997.
- [56] H. J. Dartnall, *et al.*, "Human visual pigments: microspectrophotometric results from the eyes of seven persons," *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, vol. 220, pp. 115-30, Nov 22 1983.
- [57] A. B. Asenjo, *et al.*, "Molecular determinants of human red/green color discrimination," *Neuron*, vol. 12, pp. 1131-8, May 1994.
- [58] F. G. B. Melchiades, Anselmo O., "Cores e Tonalidades em Revestimentos Cerâmicos," *Ceramica Industrial*, vol. 4, 1999.
- [59] A. B. a. W. Poirson, B. A., *Appearance of colored patterns: Pattern-color separability*: J. Opt. Soc. Amer., 1993.
- [60] W. R. Ryan, C., *Whitewares - Production, testing and quality control*, 1 ed.: Pergamon Press, 1987.
- [61] E. J. M. Giorgianni, Thomas, E., *Digital Color Management: Encoding Solutions*, 2 ed.: Jonh Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [62] D. J. Spalton, Hitchings, Roger A. and Hunter, Paul A. , *Atlas of Clinical Ophtalmology*, 3 ed.: Elsevier Mosby, 2005.
- [63] R. L. de Valois, "Central mechanisms of color vision, ," *Central Processing of Visual Information*, vol. VII/3, 1973.
- [64] K. W. e. a. Lindsay, *Neurology and neurosurgery illustrated*, 3 ed.: Churchill Livingstone, 1997.

- [65] L. P. P. Rowland, Timothy A., *Merritt's Neurology*, 12 ed.: Lippincott Williams & Wilkins, 2010.
- [66] M. S. Greenberg, *Handbook of Neurosurgery*, 6 ed.: Thieme New York, 2006.
- [67] K. D. Maurer, T ; , *Atlas of Brain-Mapping : Topographic Mapping of EEG and Evoked Potentials*: Springer-Verlag, 1991.
- [68] K. e. a. Tanji, "High- Frequency γ -Band Activity in the Basal Temporal Cortex during Picture-Naming and Lexical-Decision Tasks," *The Journal of Neuroscience*, vol. 25, pp. 3287-3293, 2005.
- [69] U. K. Misra, J., *Clinical Electroencephalography*, 1 ed. India: Elsevier Inc., 2005.
- [70] R. V. J. Fletcher, *Defective colour vision. Fundamentals, diagnosis and management*. Bristol: Adam Hilger, 1985.
- [71] F. Munsell, *Teste de Farnsworth Munsell de 100 tonalidades (FM 100)*.
- [72] S. Ishihara, *Placas de teste pseudo-isocromáticas de Ishihara*
- [73] R. Fletcher, *The City University Colour Vision Test*, 2 ed.: Keeler, 1980.
- [74] C. I. d. I. É.-. (CIE), *Comission Internationale de l'Éclairage - (CIE). Proceedings 1931*. Cambridge: Cambridge University Press, 1932.
- [75] K. A. E., *Evaluation of color vision. Hereditary retinal and choroidal diseases*. London: Harper & How, 1972.
- [76] D. D. Johnson, "The True Daylight Illuminator (TDI): a less expensive source of illumination for color vision screening," *J Am Optom Assoc*, vol. 63, pp. 491-5, Jul 1992.
- [77] D. Q. Zhu, "Method and apparatus for improving the definition of black and white text and graphics on a color matrix digital display device," United States Patent Patent, 2004.
- [78] G. W. Sonmez, F, "Completion of the three primary colours: the final step toward plastic displays," *Journal of Materials Chemistry*, pp. 20-22, 2005.
- [79] K. Sayanagi, "Method and apparatus for reproducing a color image using additive and subtractive primary color," United States Patent Patent, 1986.
- [80] ADInstruments, *Physiology Experiments Manual -Windows, PowerLab/410*, 1999.
- [81] M. F. Costa, *et al.*, "Absence of binocular summation, eye dominance, and learning effects in color discrimination," *Vis Neurosci*, vol. 23, pp. 461-9, May-Aug 2006.

- [82] M. H. Hayes, *Schaum's Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing*: McGraw Hill, 1999.
- [83] W. T. e. a. Cochran, "What is the fast Fourier transform," *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, pp. 1664 - 1674, 1967.

Anexos

Anexo I - Folha de registo dos resultados dos testes efectuados para determinação da visão das cores.

Grelha de interpretação para o teste Ishihara

Placa	Observador normal	Def. eixo
1	12	
2	8	
3	6	
4	29	
5	57	
6	5	
7	3	
8	15	
9	74	
10	2	
11	6	
12	97	
13	45	
14	5	
15	7	
16	16	
17	73	
18	X	
19	X	
20	X	
21	X	

Placa	Observador normal	grave
22	26	6
23	42	2
24	35	5
25	96	6

* símbolos identificados com menos cl

CITY UNIVERSITY COLOUR VISION TEST (2nd Ed. 1980)

Address Patient

Examiner Male/Female Date/...../199

Spectacles worn? YES/NO RE/LE/BE

Illumination ("Daylight") Type Level

FORMULA: Here are 4 colour spots surrounding one in the centre. Tell me which spot looks near in colour to the one in the centre. Use the words "TOP", "BOTTOM", "RIGHT", "LEFT". Please do not touch the pages.

	PAGE (A is for demonstration)	SUBJECT'S CHOICE OF MATCH			NORMAL	DIAGNOSIS		
		R	L	Both		PROTAN	DEUTAN	TRITAN
"CHROMA FOUR"	1				B	R	L	T
	2				R	B	L	T
	3				L	R	T	B
	4				R	L	B	T
	5				L	T	B	R
	6				B	L	T	R
"CHROMA TWO"	7				L	T	R	B
	8				R	L	B	T
	9				B	L	T	R
	10				T	B	L	R
AT CHROMA FOUR					/6	/6	/6	/6
SCORE AT CHROMA TWO					/4	/4	/4	/4
OVERALL					/10	/10	/10	/10

Probable type of Daltonism P; PA, EPA MIXED
D, DA, EDA
TRITAN

© KEELER 1980

Figura AI.1 - Grelha de interpretação para o teste de Ishihara e para o teste 'City University Colour Vision Test'

Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltónicos comparativamente com indivíduos normais

Nome: _____

Data: ____/____/____

Teste da Visão das cores

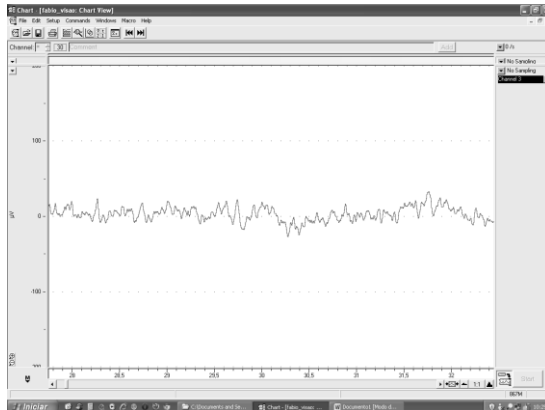
Olho Direito																								
Cx1	84	85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Cx2	21	--	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Cx3	42	--	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Cx4	63	--	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
Olho Esquerdo																								
Cx1	84	85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Cx2	21	--	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Cx3	42	--	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Cx4	63	--	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85

Figura Al.2 - Grelha de interpretação para o teste de Farnsworth Munsell Hue de 100 tonalidades

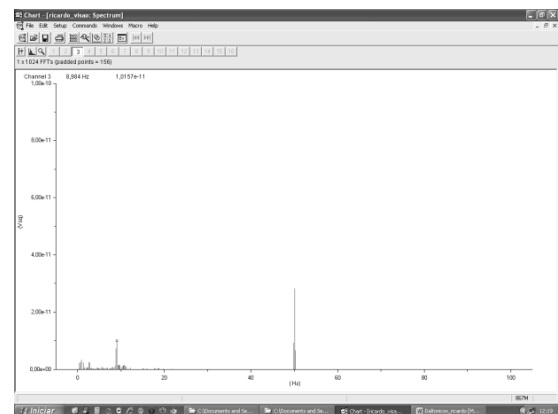
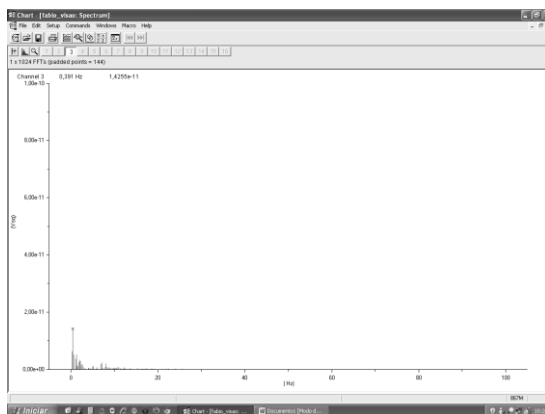
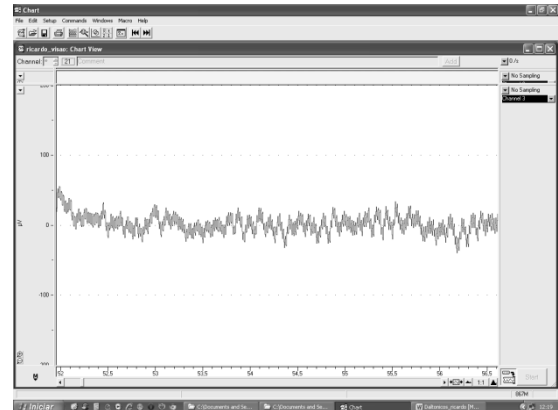
Anexo II - Gráficos respectivos aos exames de electroencefalografia efectuados pelos voluntários.

Cor: Preto

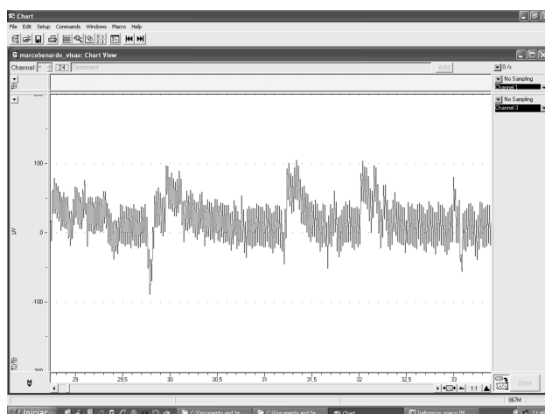
Nome: FC



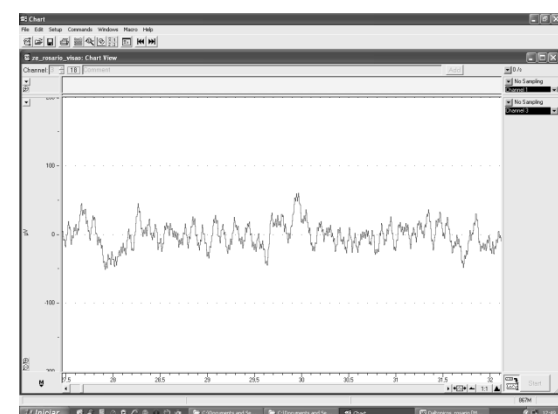
Nome: RD



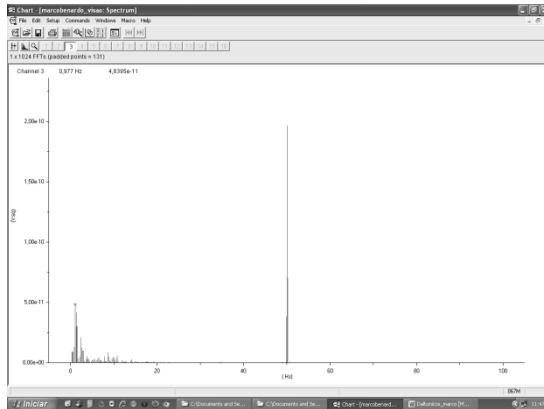
Nome: MB



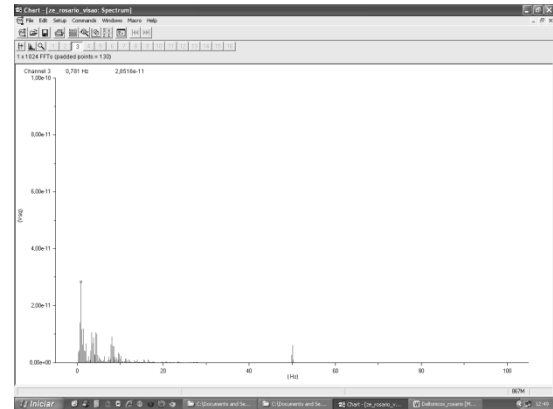
Nome: JM



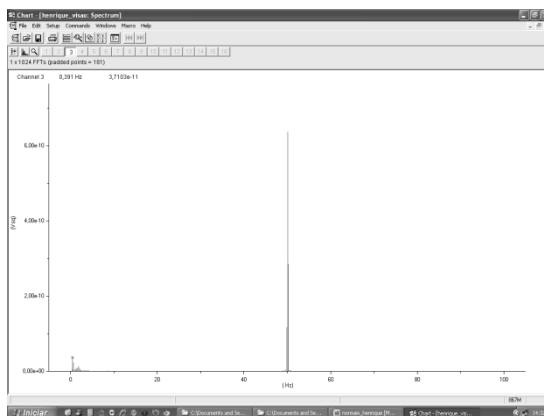
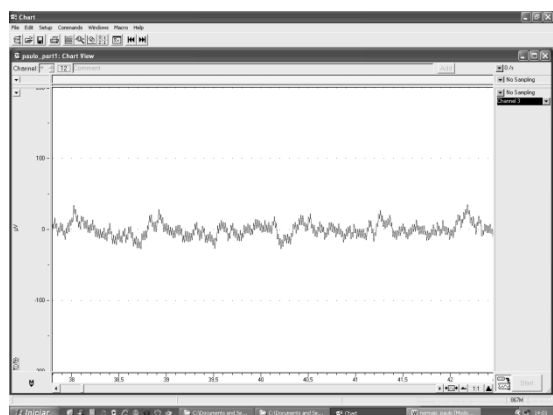
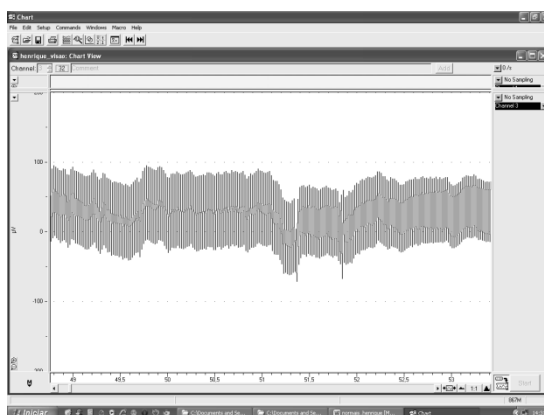
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



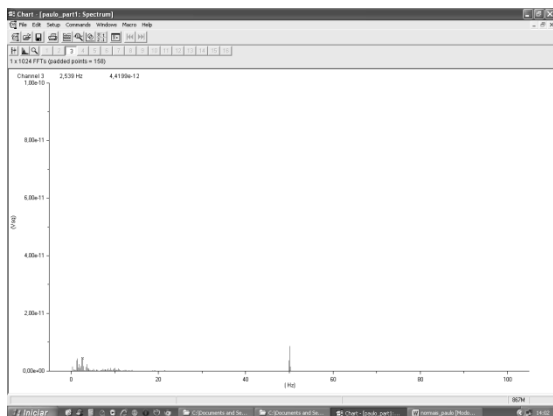
Nome: HS



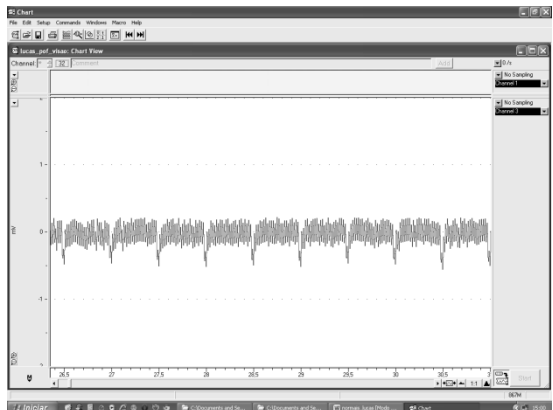
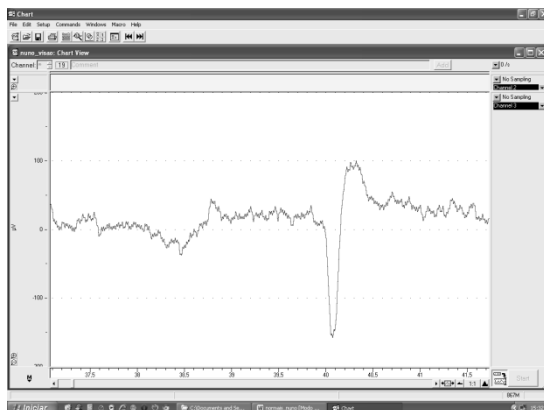
Nome: PG



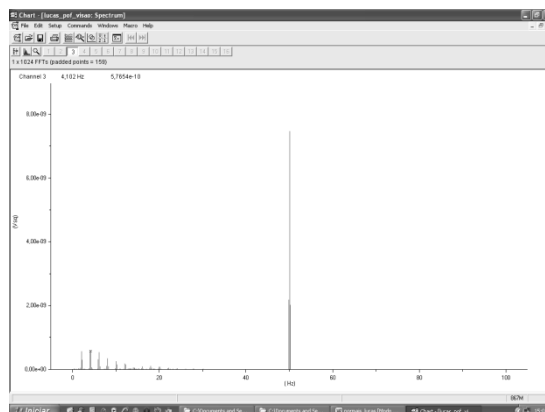
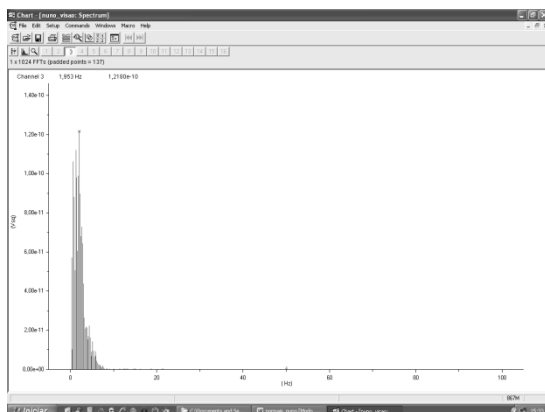
Nome: ND



Nome: LC



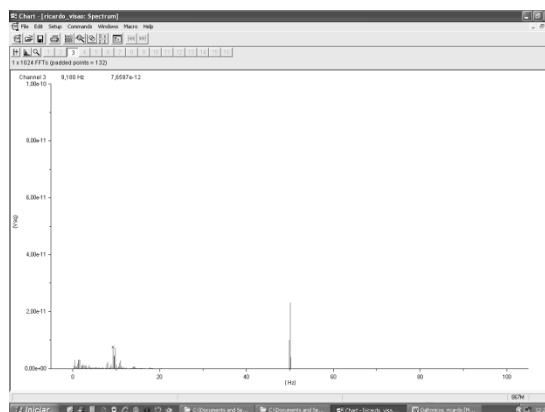
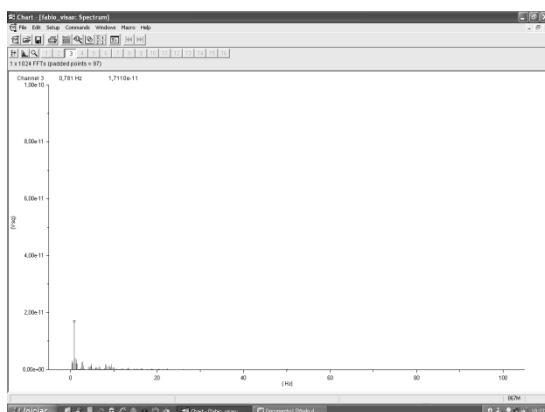
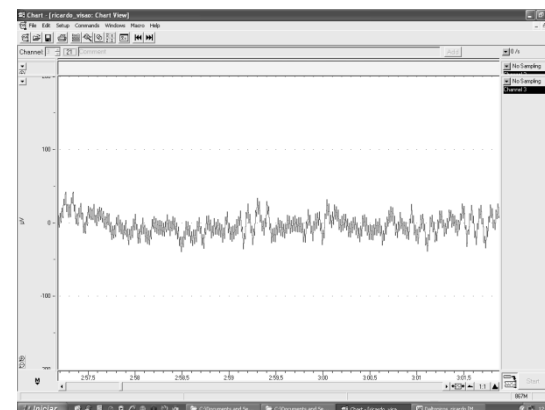
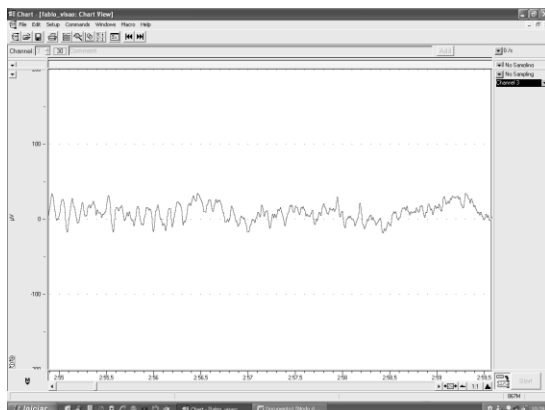
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



Cor: Ciano

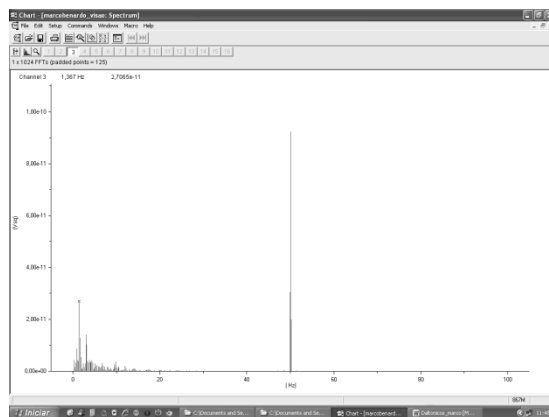
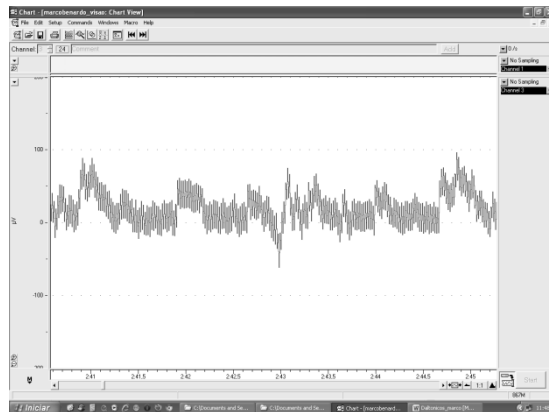
Nome: FC

Nome: RD

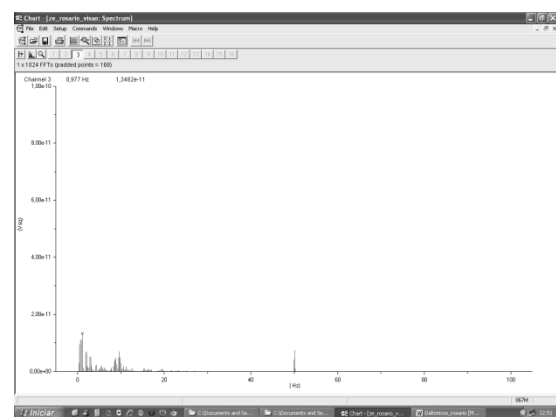
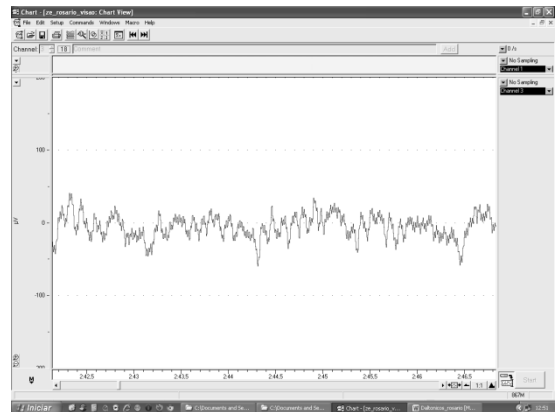


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

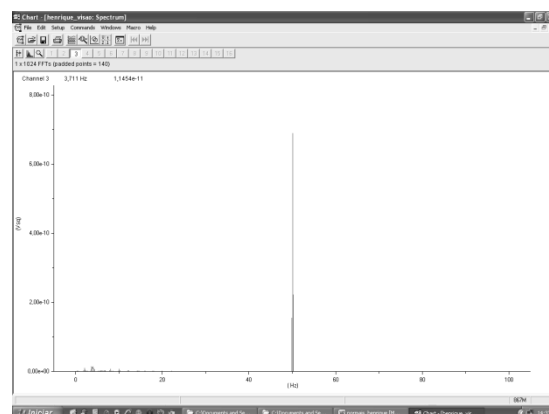
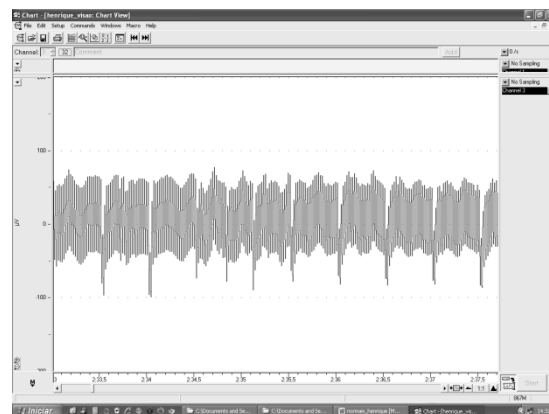
Nome: MB



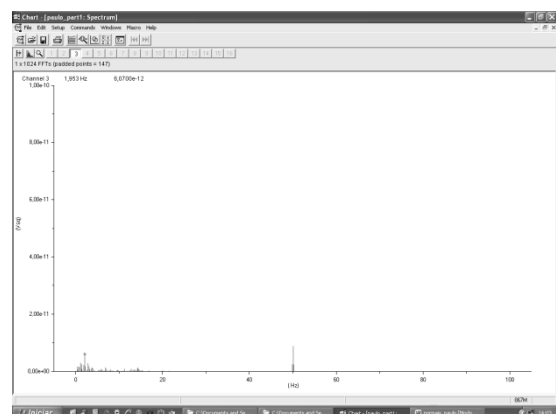
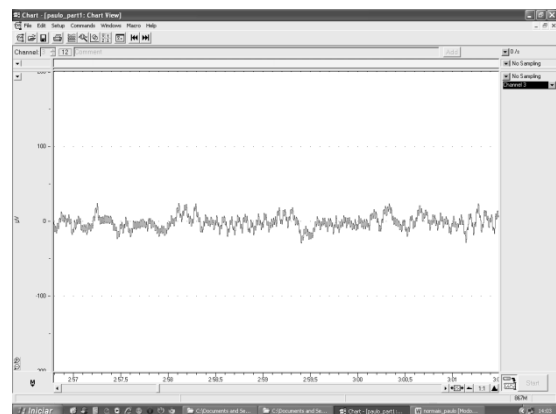
Nome: JM



Nome: HS

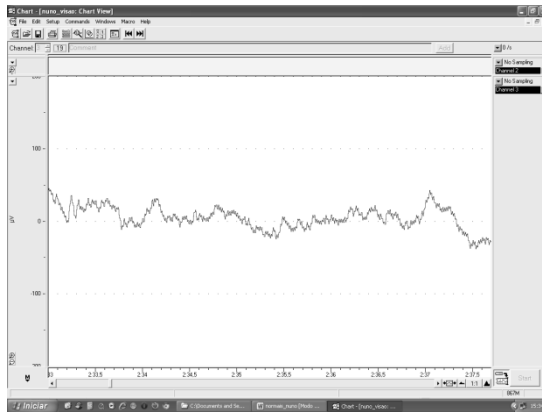


Nome: PG

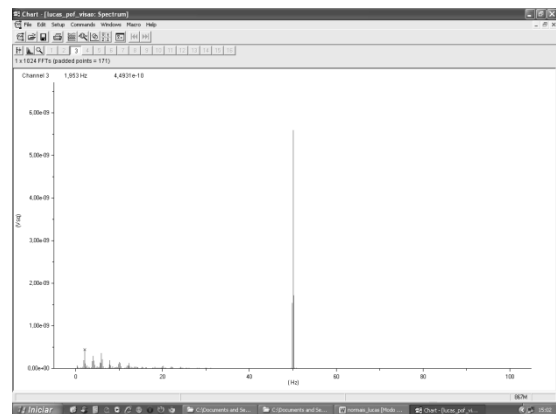
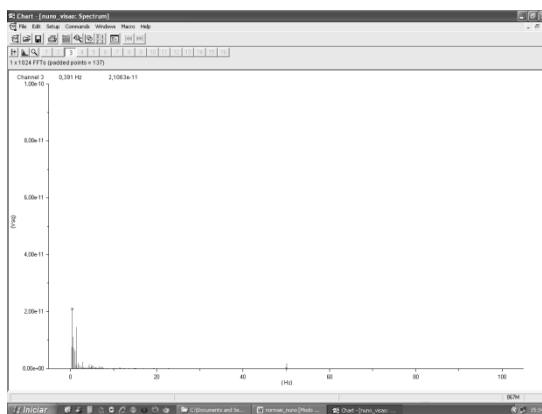
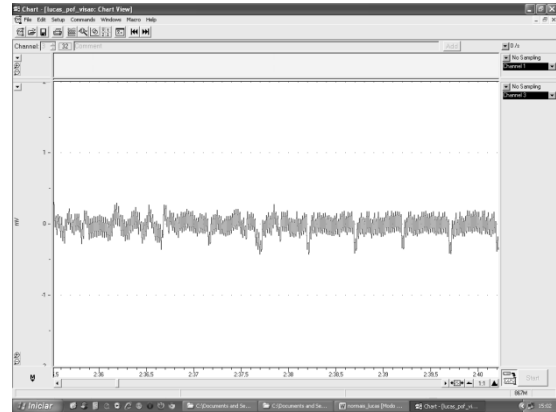


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

Nome: ND

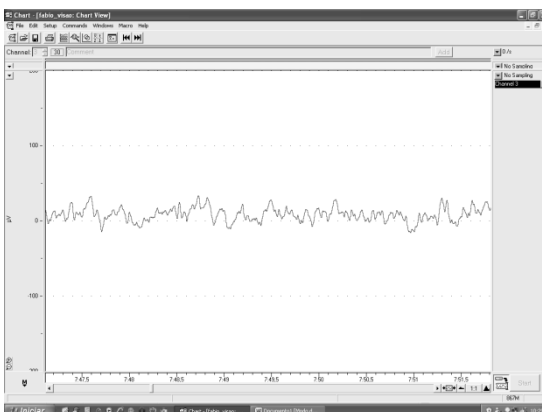


Nome: LC

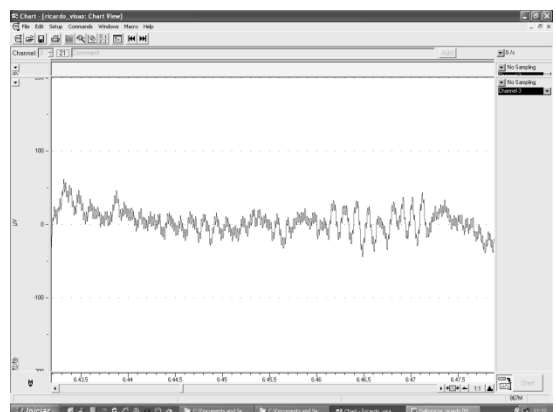


Cor: Vermelho

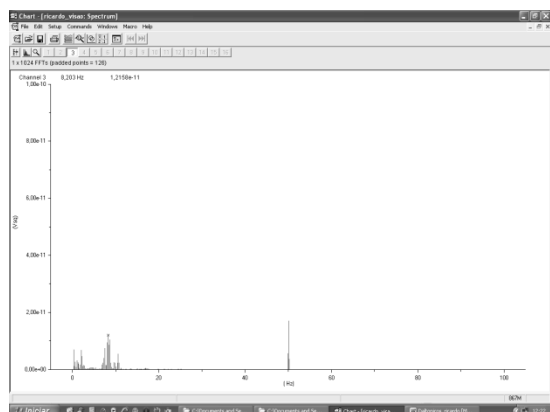
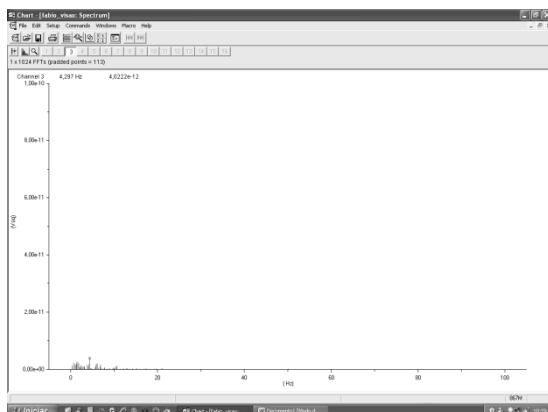
Nome: FC



Nome: RD

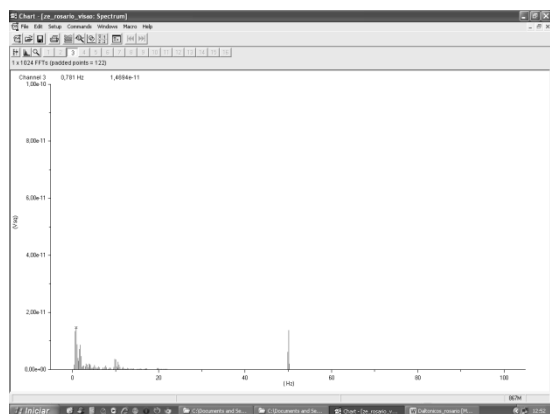
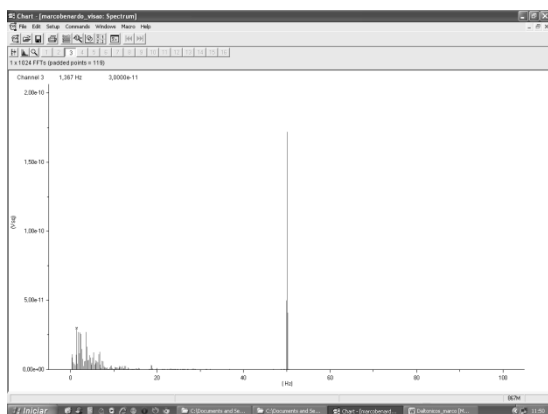
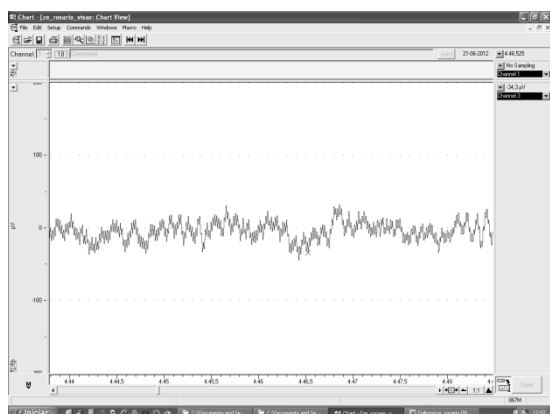
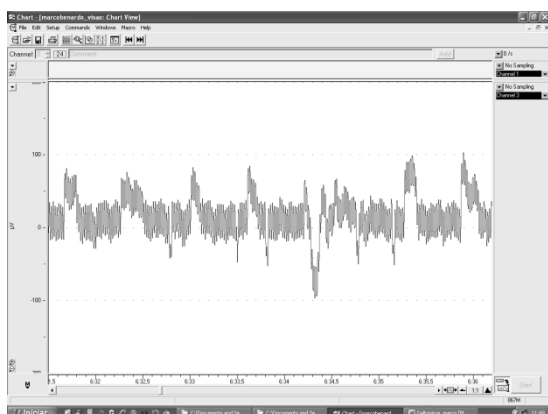


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



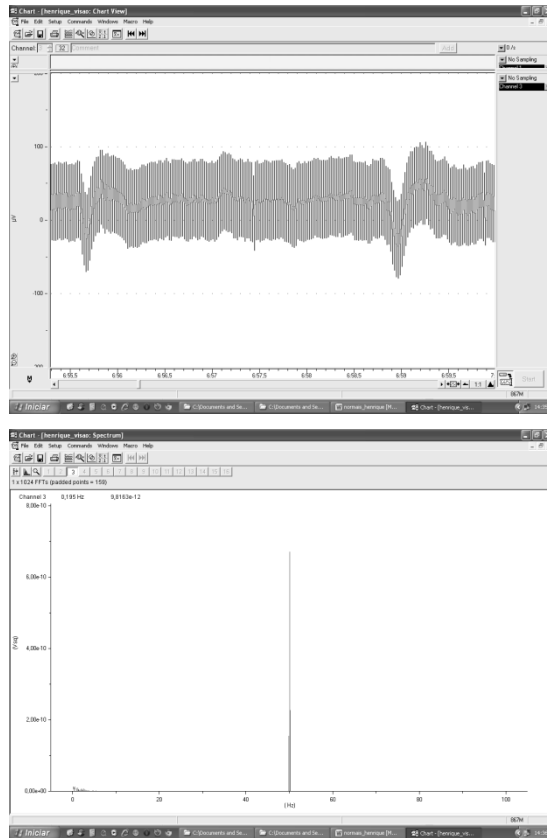
Nome: MB

Nome: JM

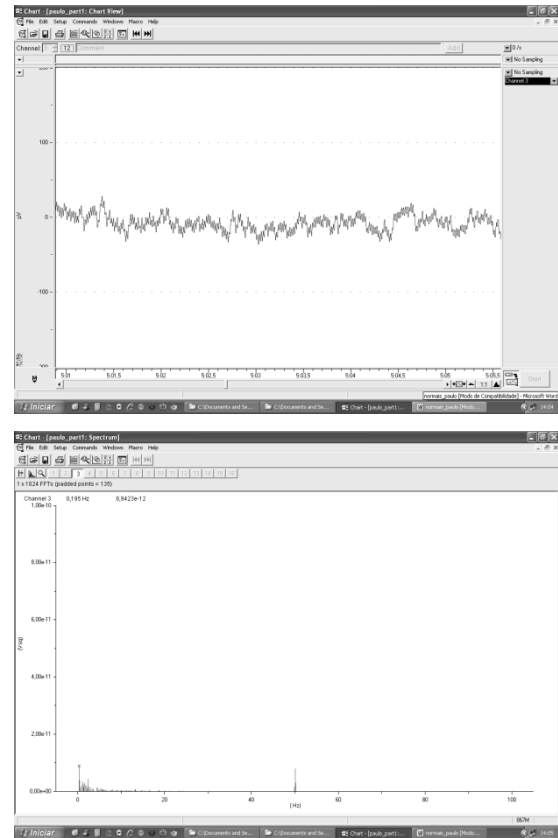


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

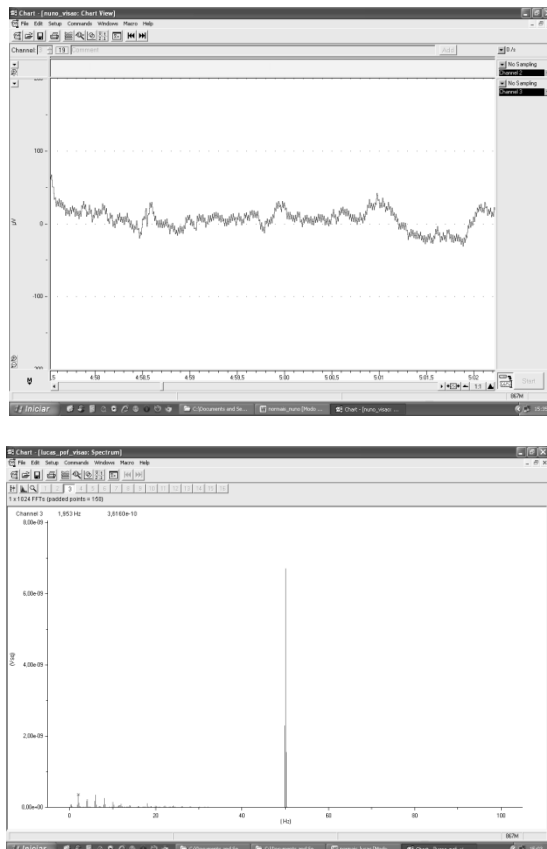
Nome: HS



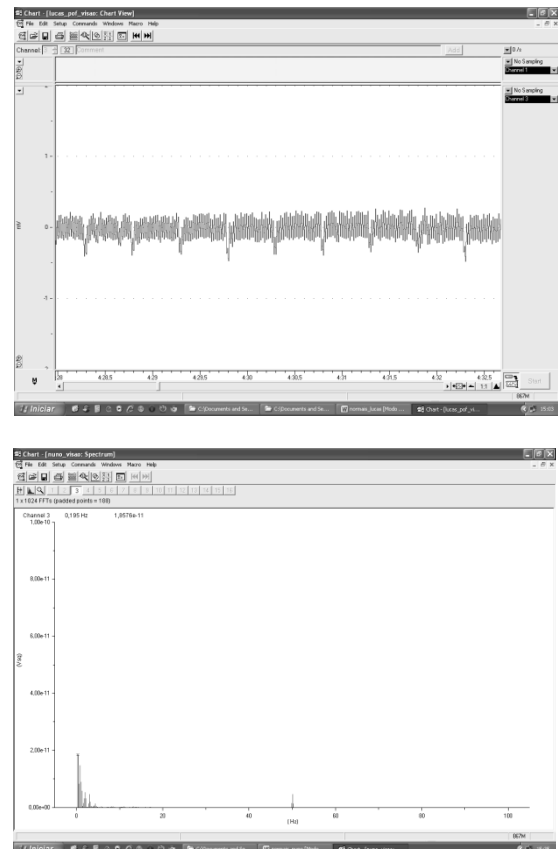
Nome: PG



Nome: ND



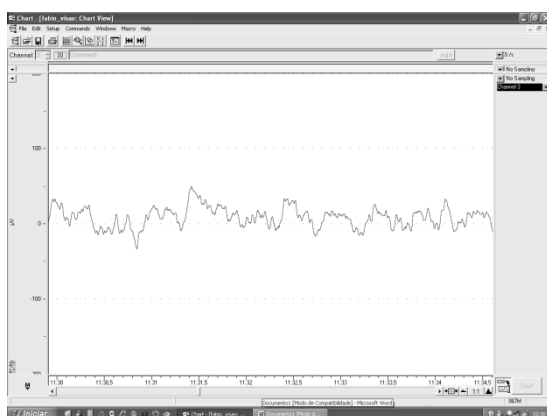
Nome: LC



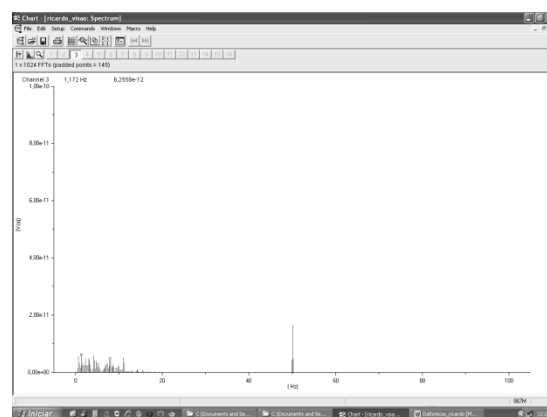
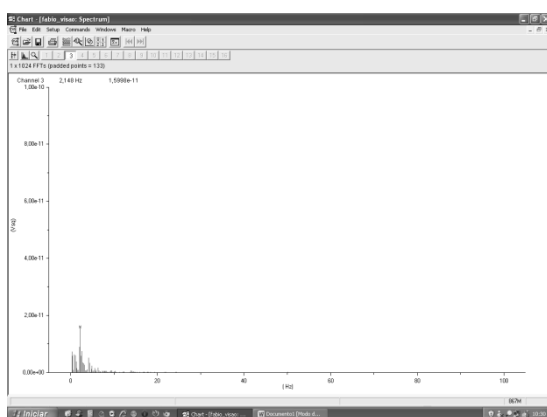
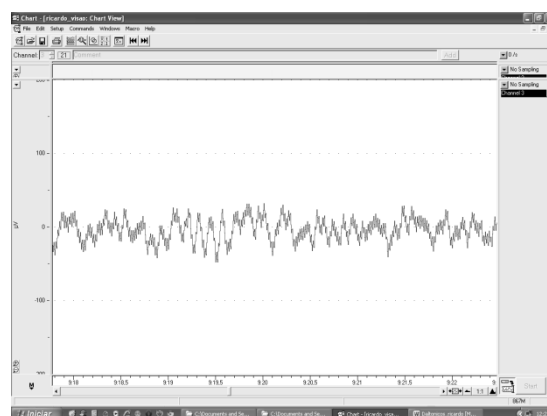
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

Cor: Amarelo

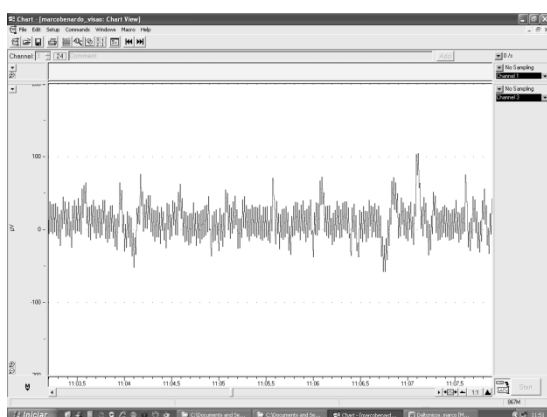
Nome: FC



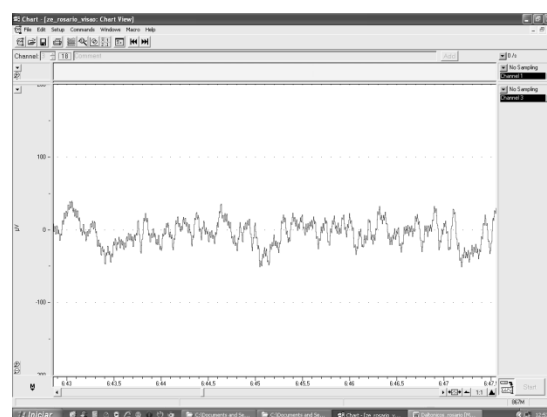
Nome: RD



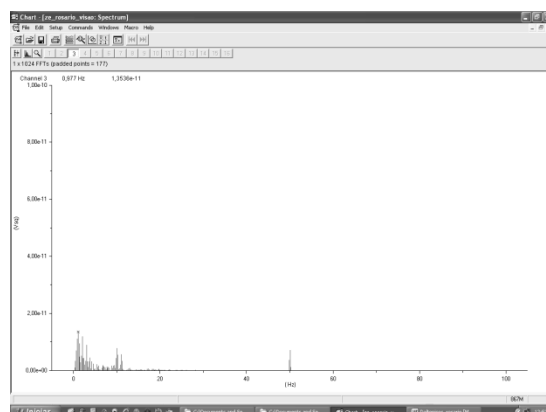
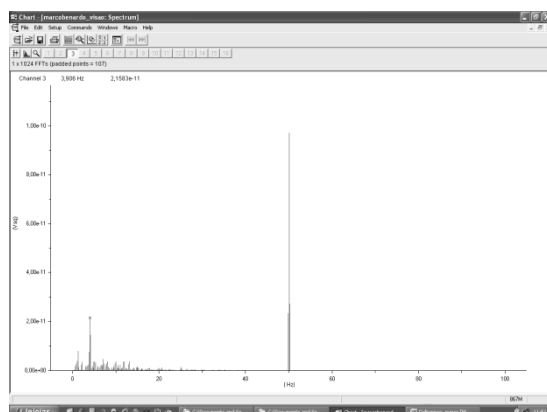
Nome: MB



Nome: JM

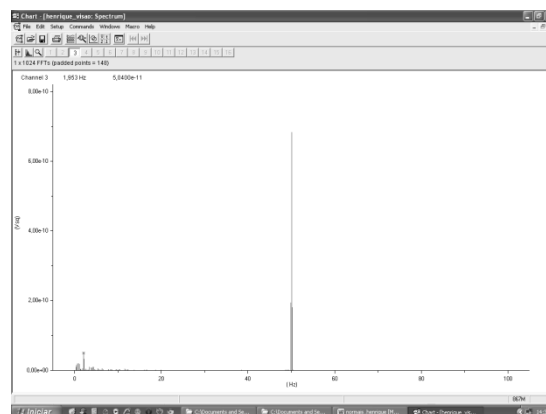
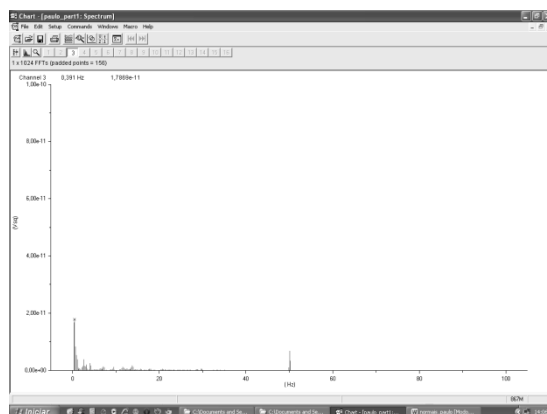
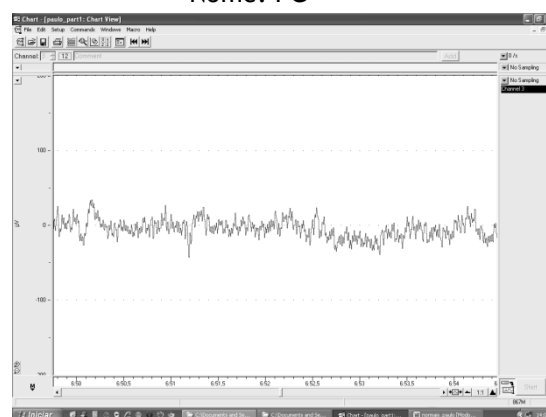
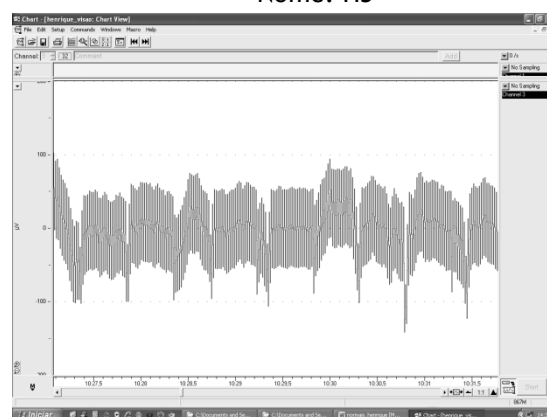


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



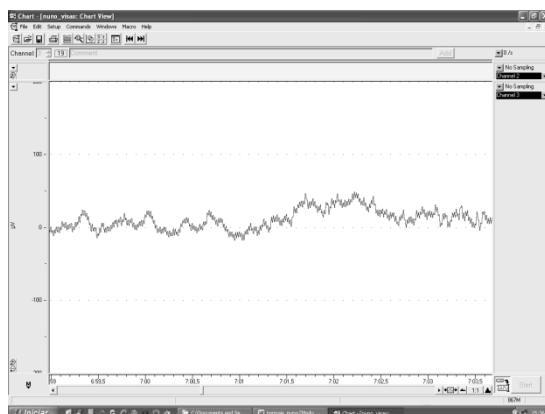
Nome: HS

Nome: PG

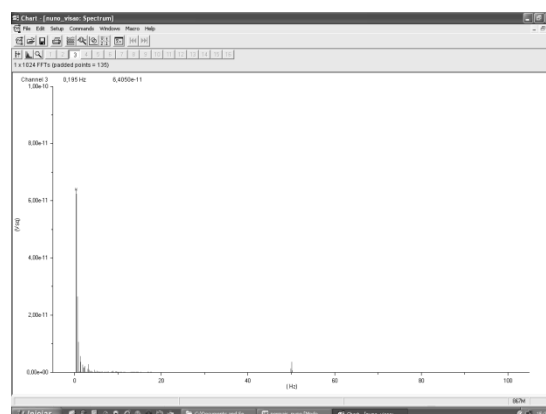
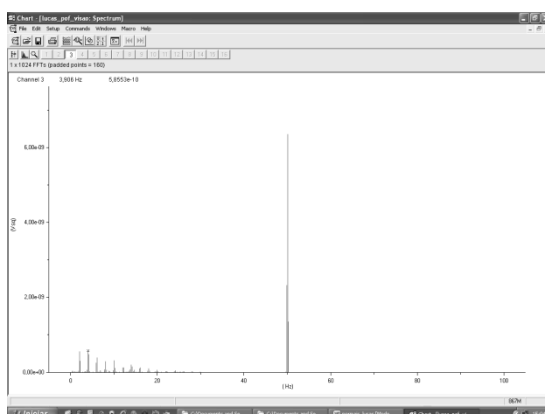
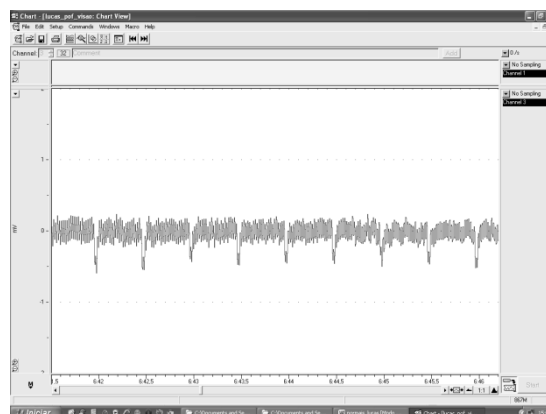


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

Nome: ND

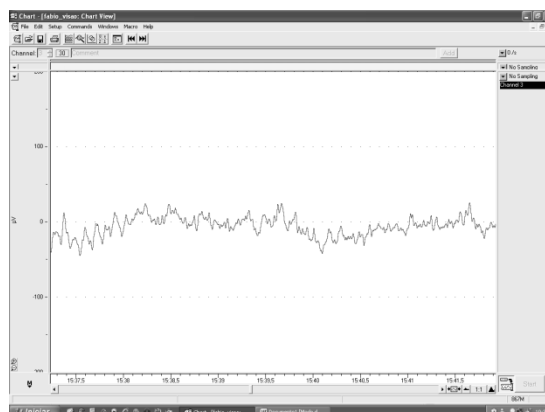


Nome: LC

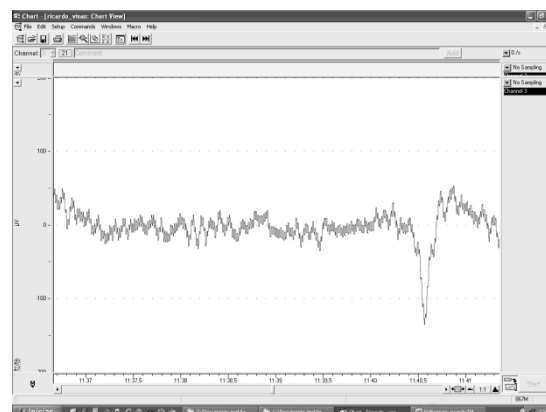


Cor: Castanho

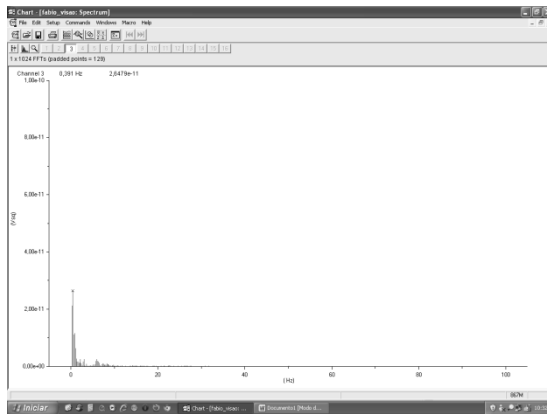
Nome: FC



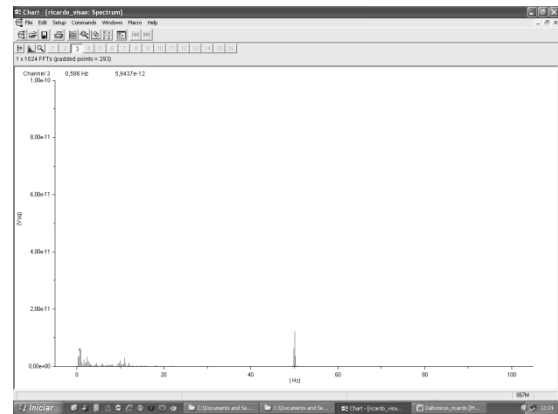
Nome: RD



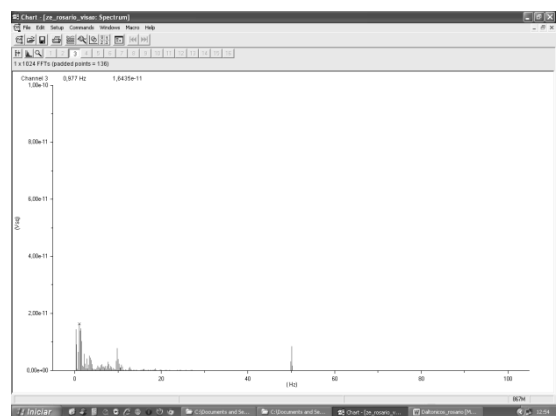
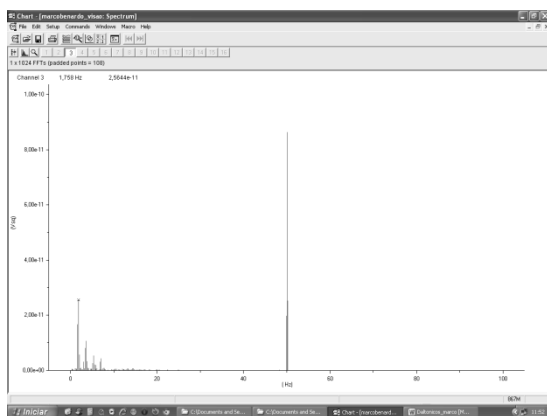
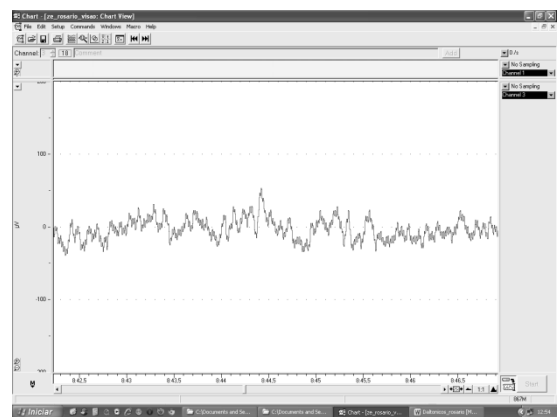
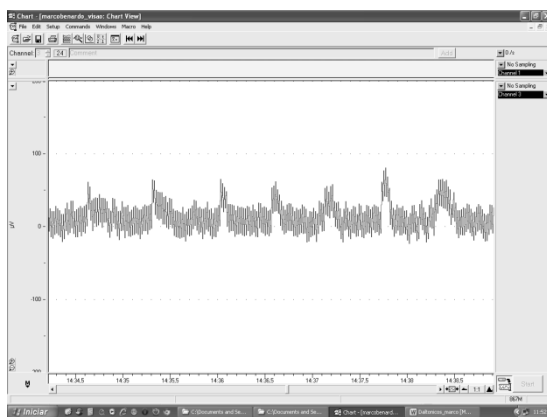
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



Nome: MB

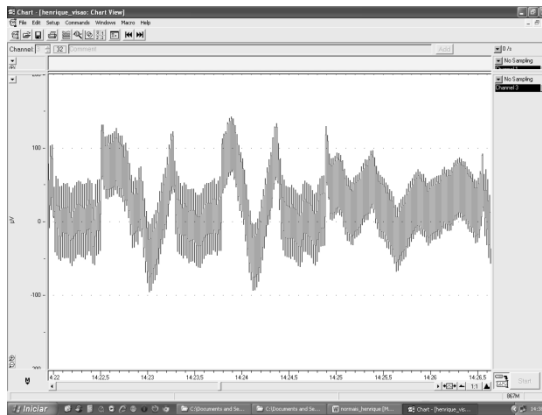


Nome: JM

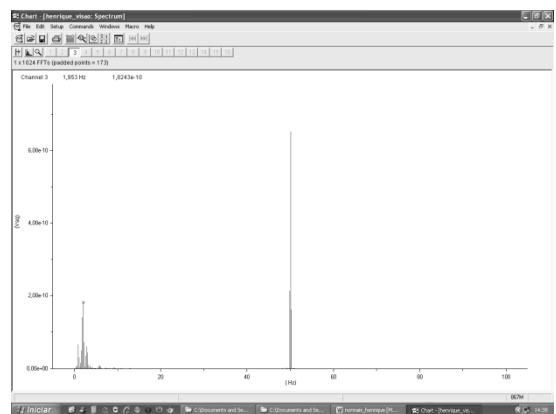
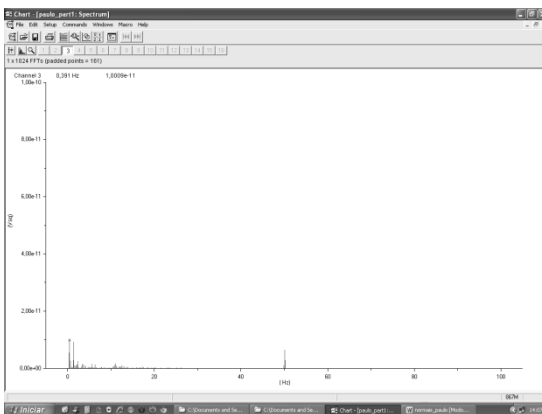
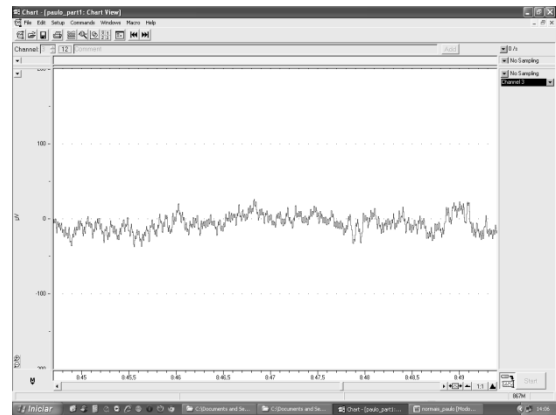


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

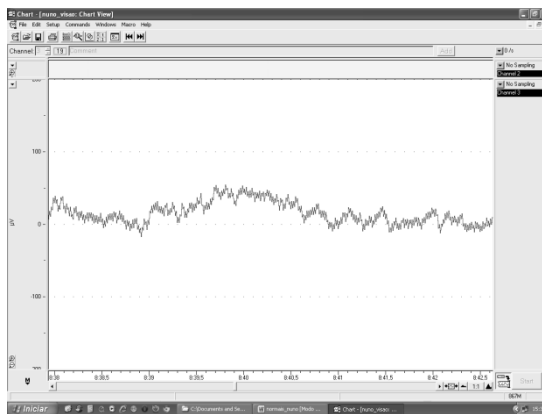
Nome: HS



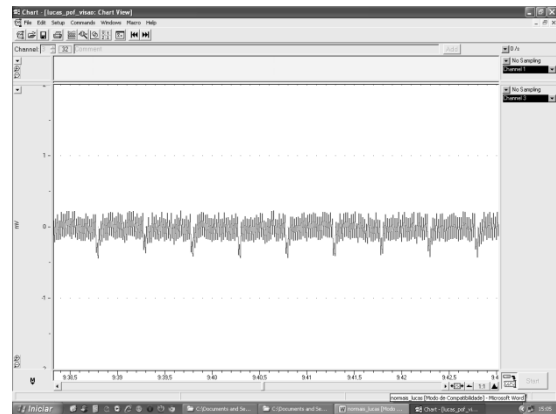
Nome: PG



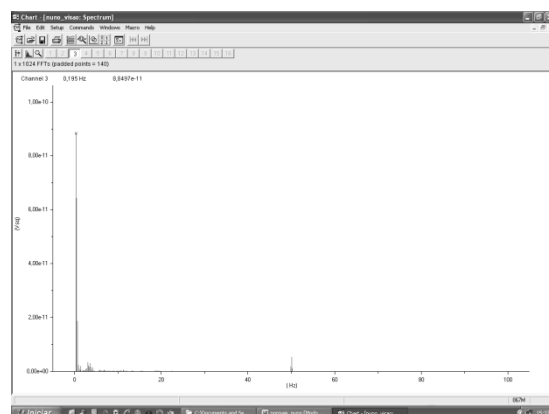
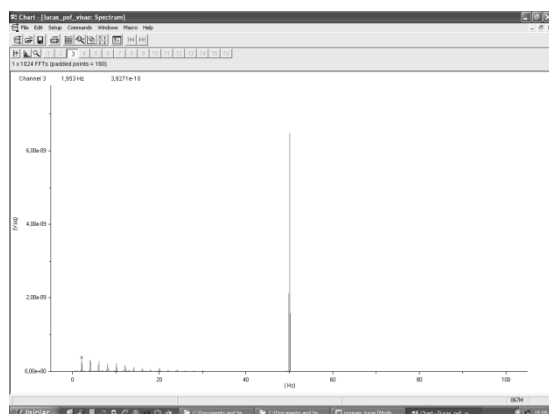
Nome: ND



Nome: LC



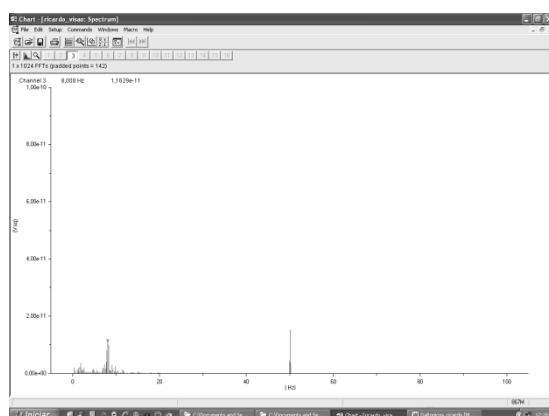
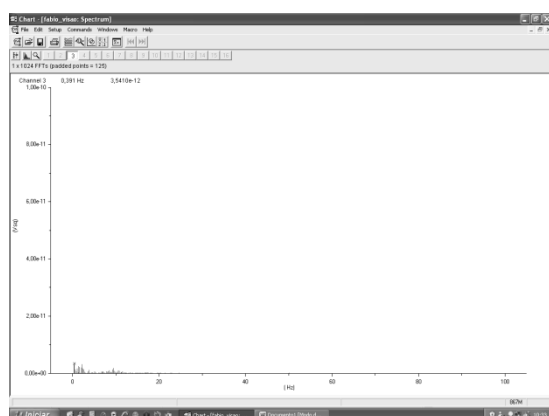
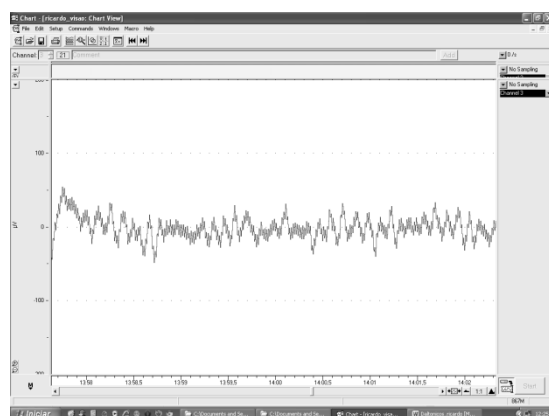
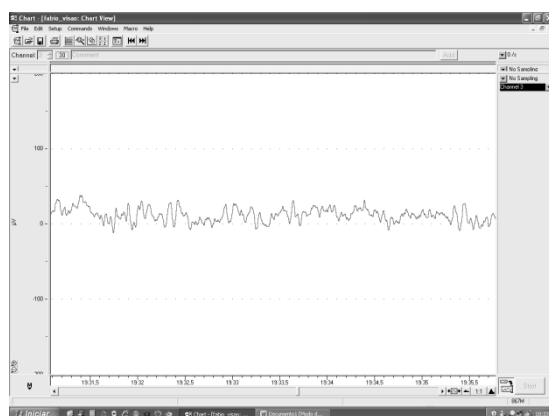
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



Cor: Rosa

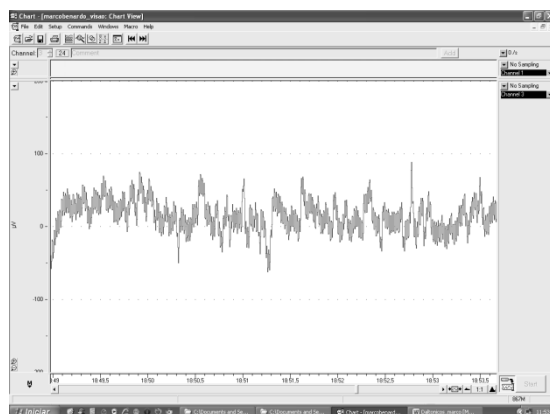
Nome: FC

Nome: RD

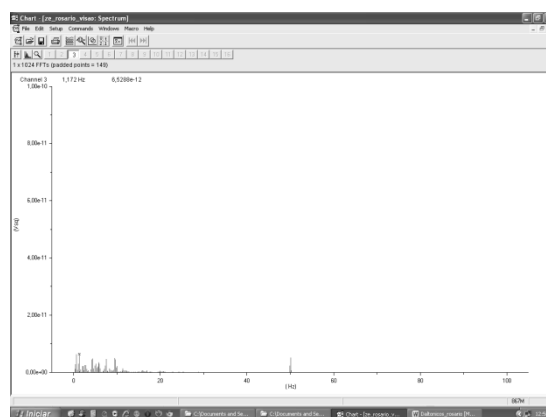
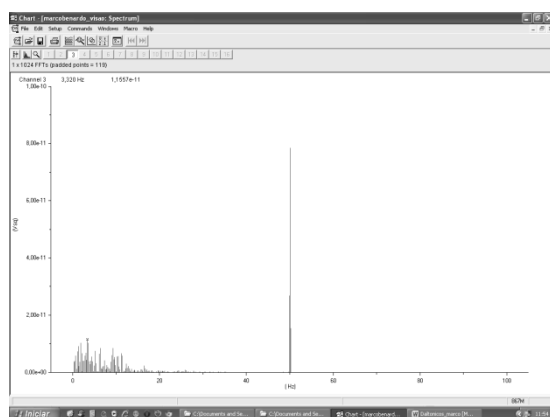
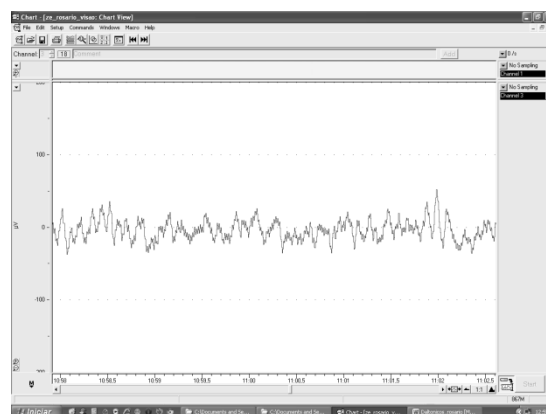


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

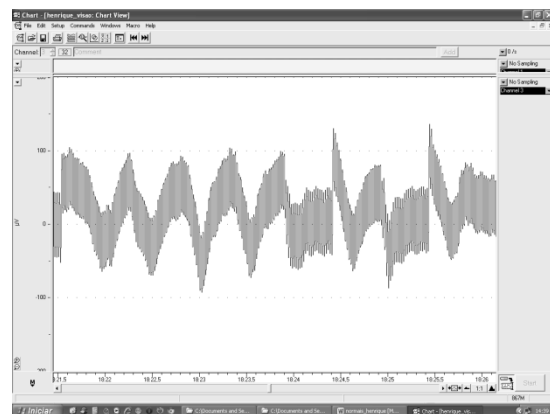
Nome: MB



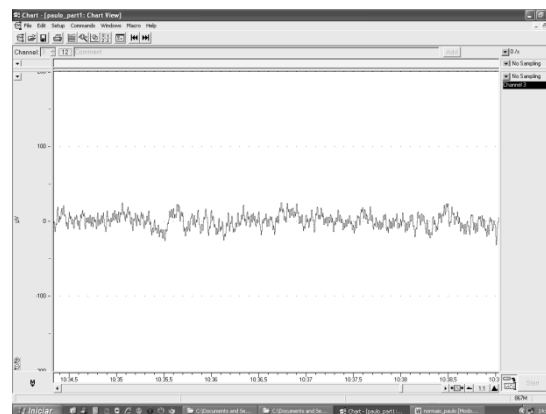
Nome: JM



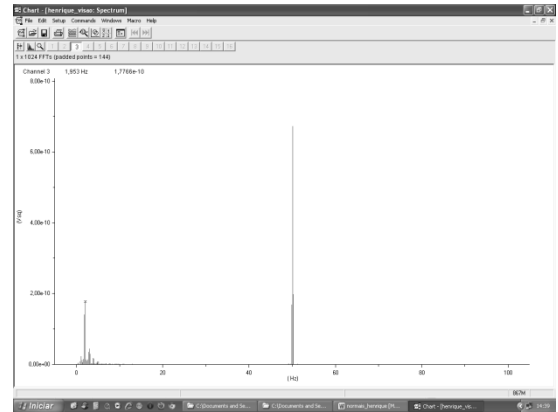
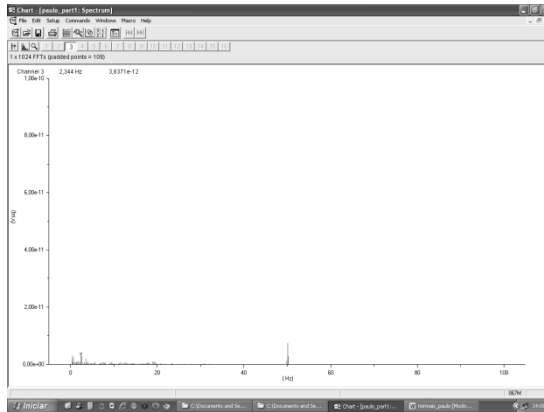
Nome: HS



Nome: PG

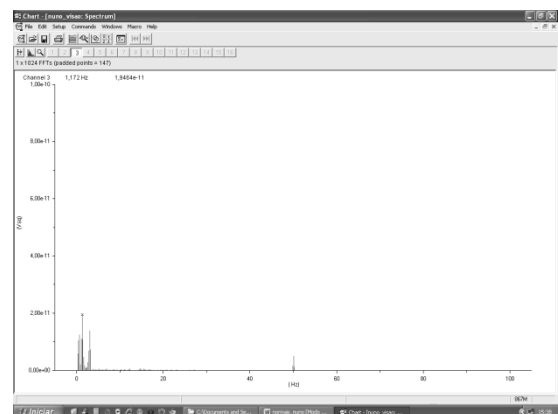
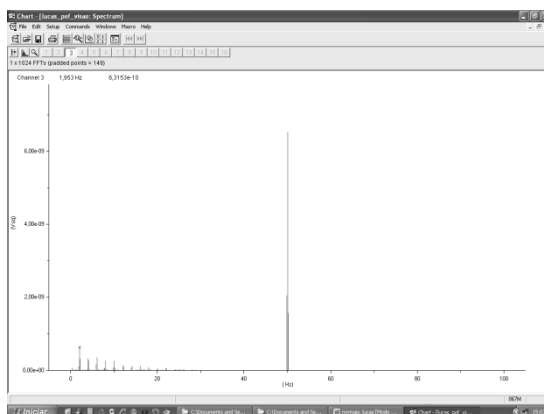
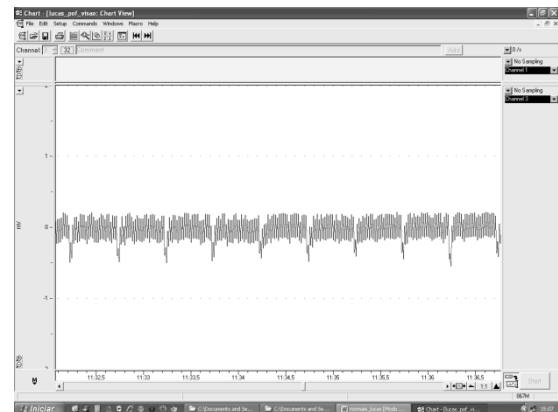
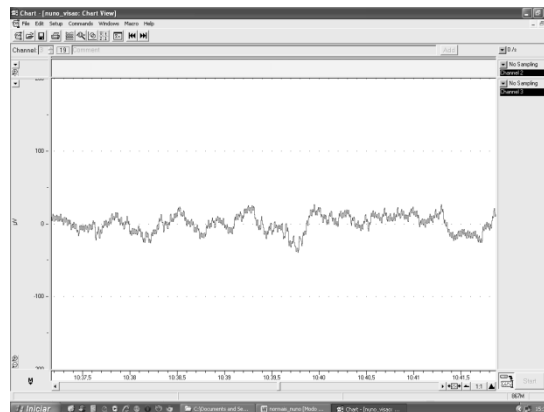


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



Nome: ND

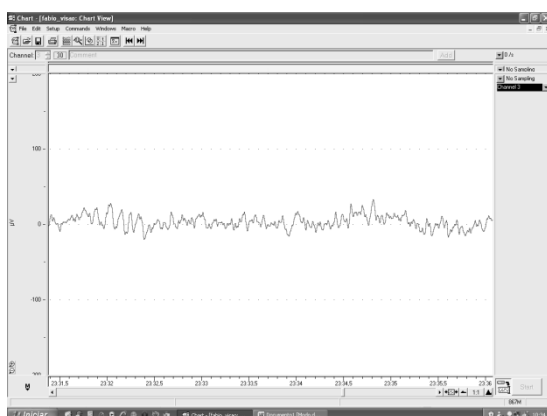
Nome: LC



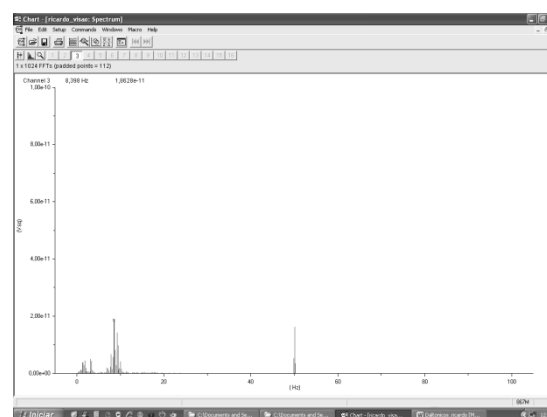
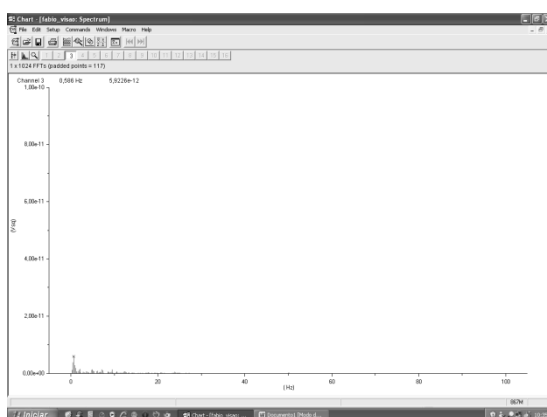
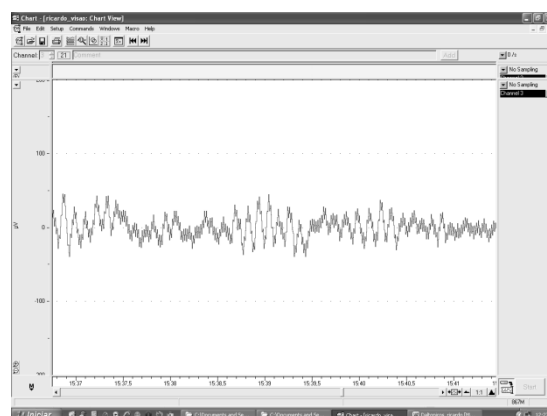
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

Cor: Verde

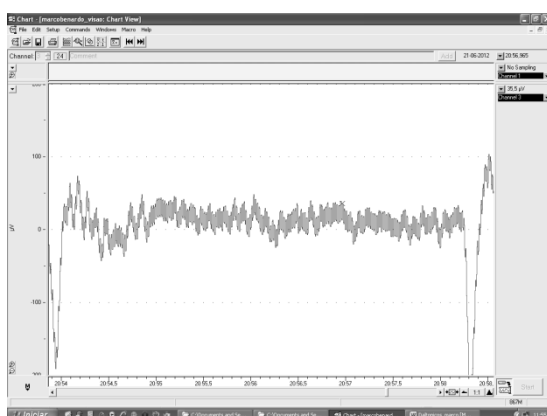
Nome: FC



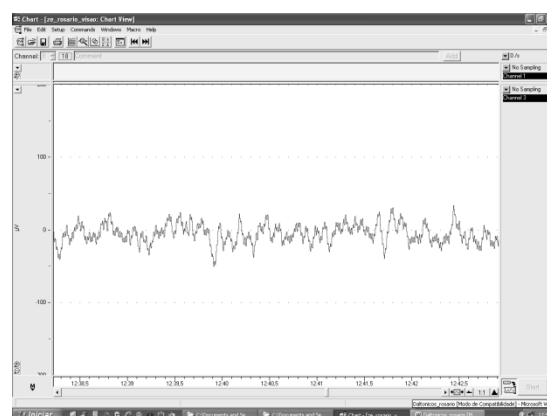
Nome: RD



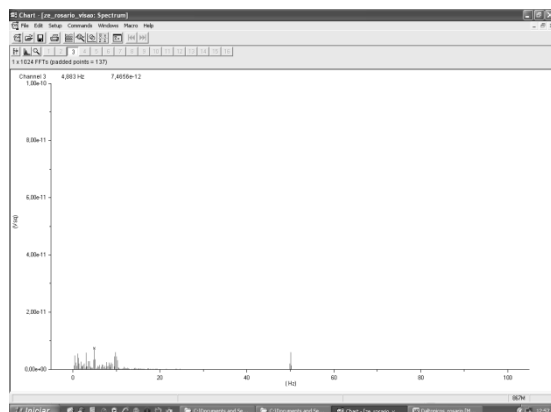
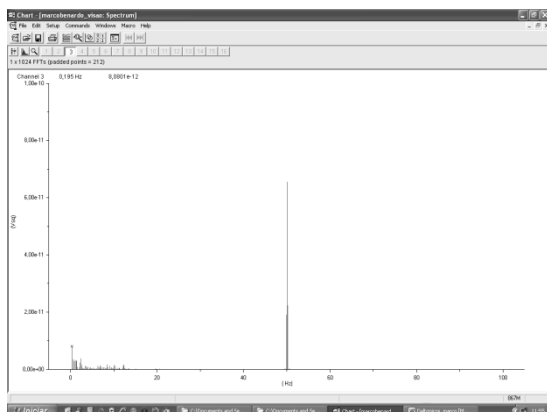
Nome: MB



Nome: JM

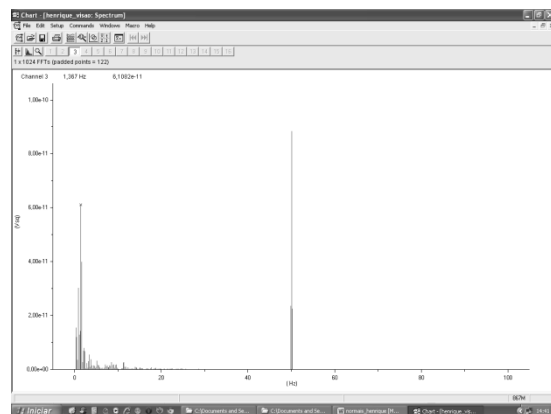
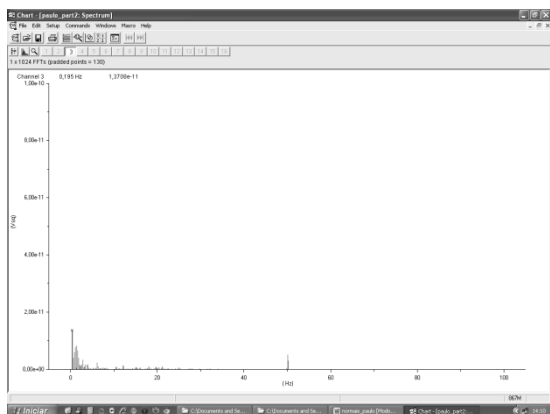
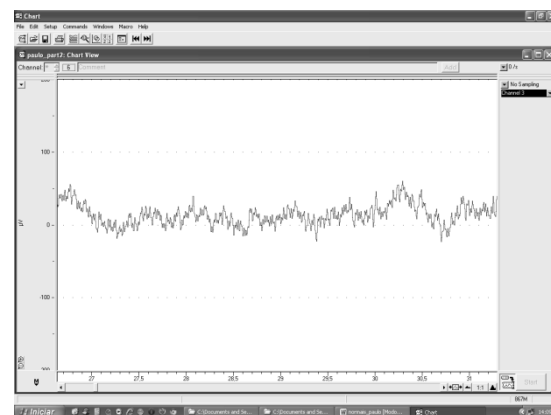
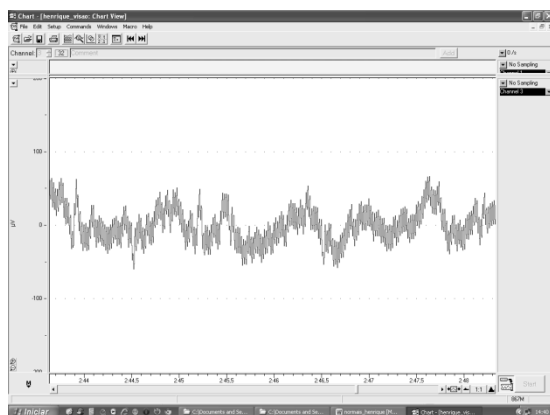


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



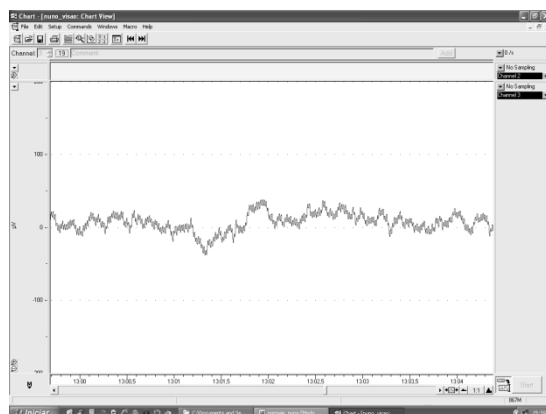
Nome: HS

Nome: PG

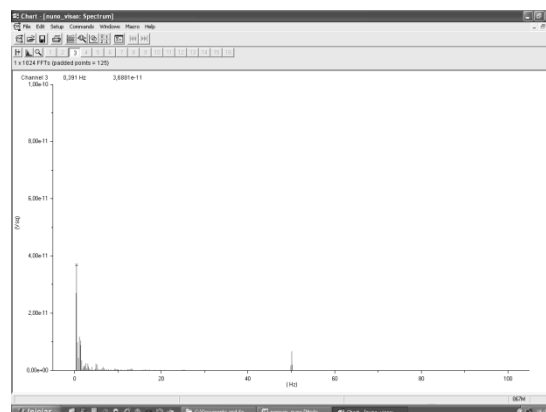
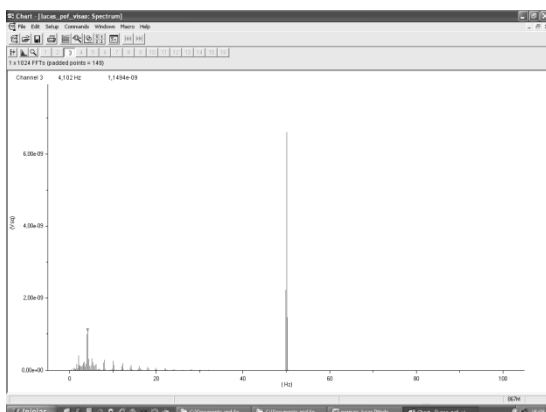
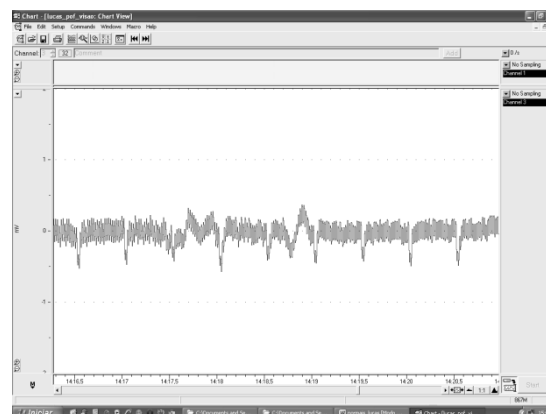


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

Nome: ND

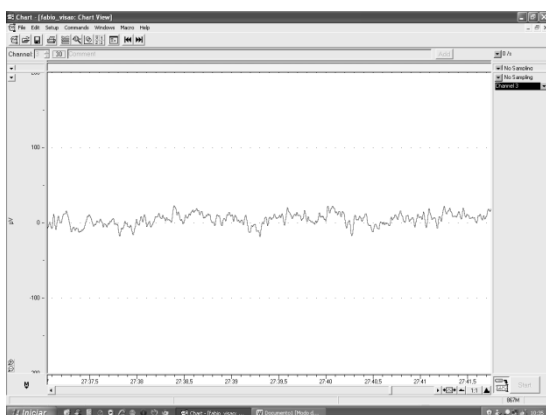


Nome: LC

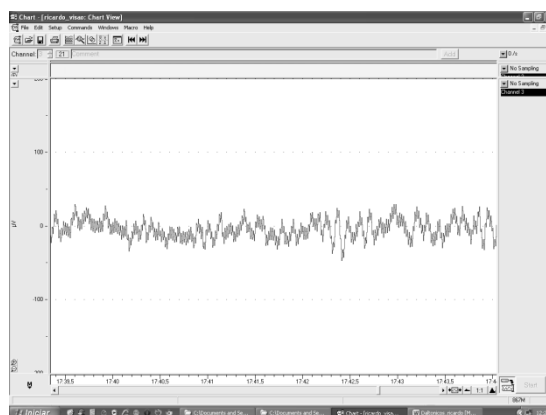


Cor: Laranja

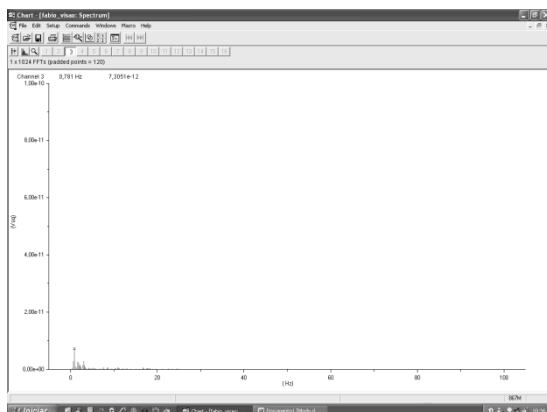
Nome: FC



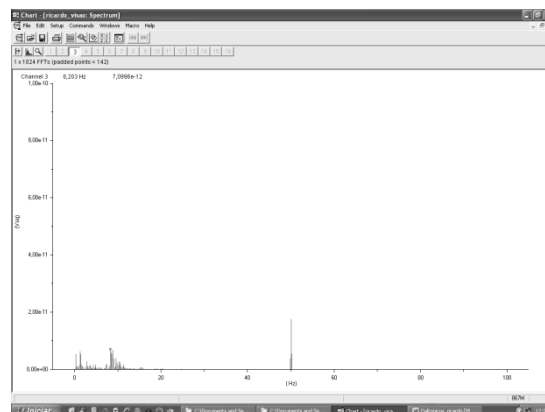
Nome: RD



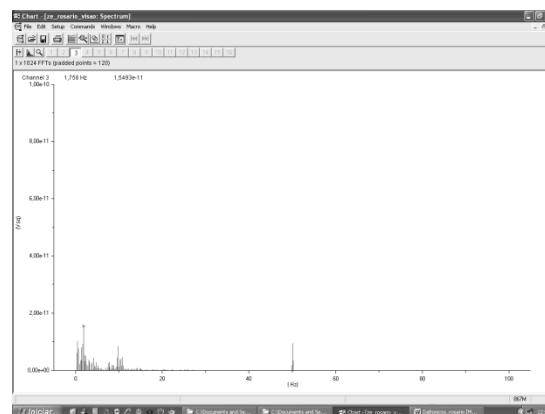
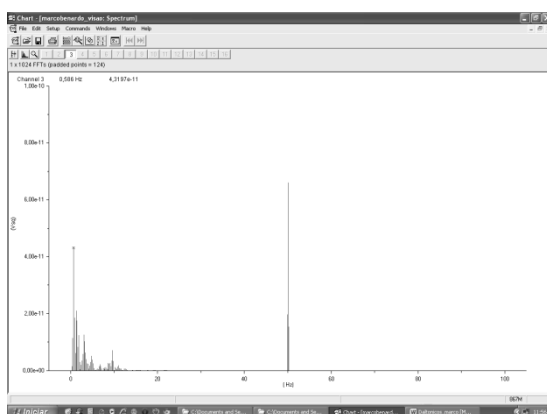
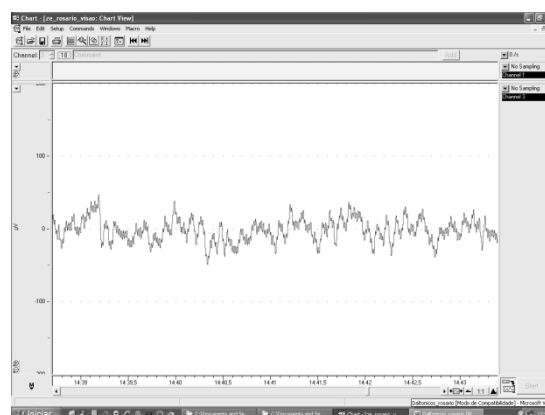
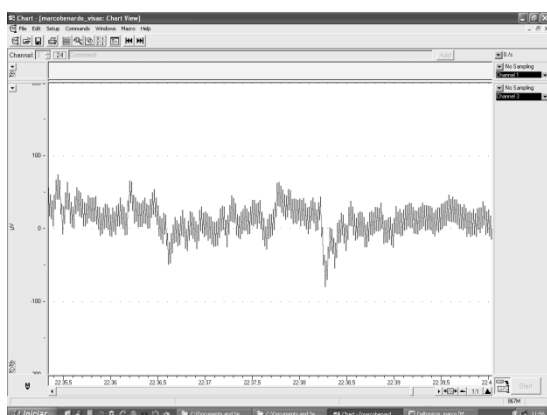
Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais



Nome: MB

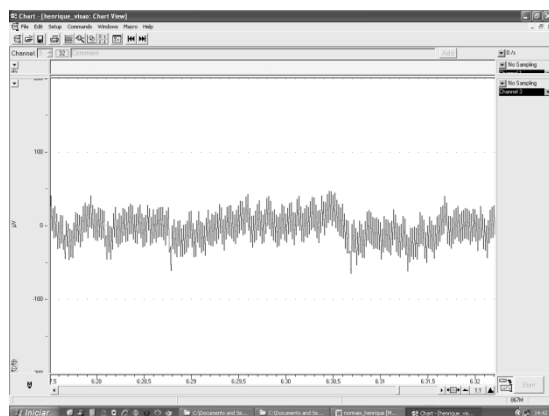


Nome: JM

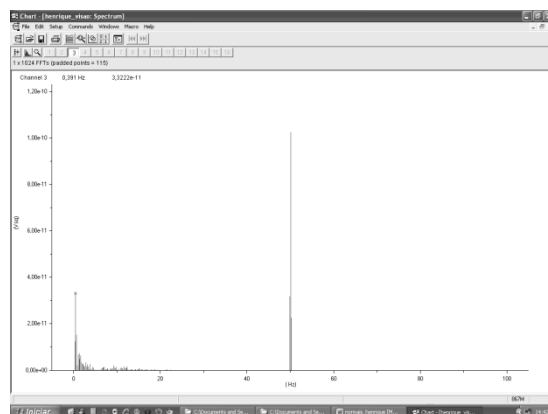
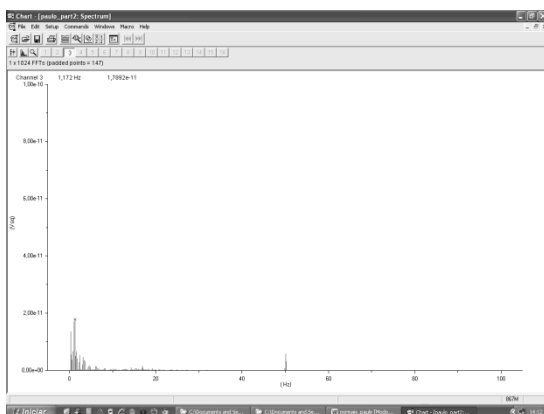
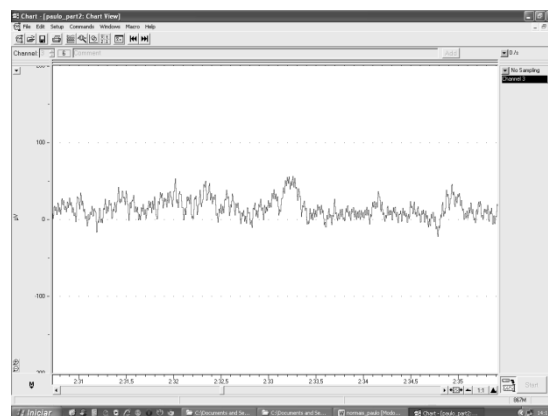


Análise do processamento de sinal visual através de electroencefalograma em indivíduos daltônicos comparativamente com indivíduos normais

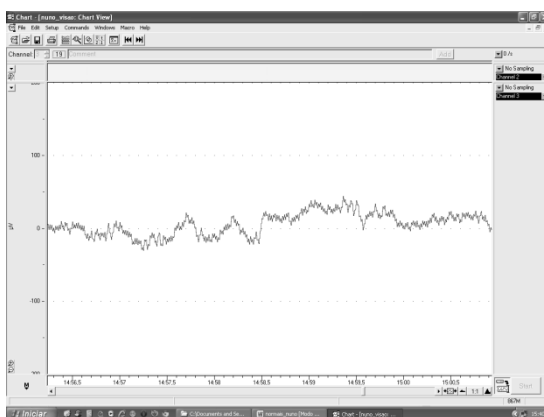
Nome: HS



Nome: PG



Nome: ND



Nome: LC

